

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

Senzory pro vyhledávání osob

Sensors for Persons Searching

Student: Bc. Tomáš Szajna  
Vedoucí diplomové práce: Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Szajna**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 40 Letecká doprava  
Téma: **Senzory pro vyhledávání osob**  
**Sensors for Persons Searching**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza senzorů biosignálů
2. Výběr vhodných senzorů biosignálů pro využití pro vyhledávání osob
3. Návrh senzorů pro využití pro vyhledávání osob s použitím na UAS

Cíl DP: Cílem je analýza a výběr vhodných senzorů pro použití na metrologický systém s UAS pro vyhledávání ztracených osob

Seznam doporučené odborné literatury:

Hozman J.: a kol.: Praktika z biomedicínské a klinické techniky. Praha: ČVUT Praha. 2008.  
Čihák J.: Biofyzikální snímače, sondy a elektrody. Olomouc: PF Univerzity Palackého Olomouc. 1985.  
<http://www.robotshop.com/sensors.html>.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



*Aleš Slíva*

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

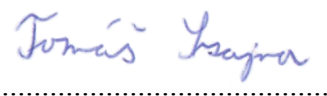
*Ivo Hlavatý*

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Szajna

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Tylova 534, Bohumín 73581

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Szajna, T. Senzory pro vyhledávání osob : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 59 s. Vedoucí práce: Martinec, F.

V úvodu je vysvětleno, co to je bezpilotní letoun. Následně se zabývám biosignály, které je možno zaznamenat. Dále jsou vysvětleny stávající druhy senzorů. V závislosti na typu snímačů jsou uvedeny jejich příklady a ty jsou také popsány. Další část práce se zabývá výběrem senzorů pro konkrétní bezpilotní letoun. Pro výběr vhodného senzoru je navržen algoritmus. Algoritmus je použit k vybrání čtyř senzorů a u nich je specifikováno jejich operační nasazení.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

Szajna, T. Sensors for Persons Searching : Master Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 59 p. Thesis head: Martinec, F.

The introduction explains what it is the unmanned aerial vehicle. Subsequently, I am dealing with signals that can be recorded. The next, are explained existing types of sensors. Depending on the type of sensors are stated their example and these are also described. The next section deals with the selection of sensors for specific UAV. To select a suitable sensor is designed algorithm. The algorithm is used for selected the four sensors and specified their operational deployment.

# Obsah

Obsah .....	5
Seznam použitých značek a symbolů .....	6
0 Úvod.....	7
1 Bezpilotní systém.....	9
1.1 Legislativa.....	9
1.2 Historie bezpilotních letounů .....	10
1.3 Rozdělení bezpilotních systémů.....	10
2 Biosignály člověka.....	13
2.1 Otisky prstů a dlaně.....	14
2.2 Otisk oční duhovky .....	14
2.3 Biometrie obličeje .....	15
2.4 Záznam hlasu .....	15
2.5 EKG (elektrokardiogram) .....	16
2.6 EEG (elektroencefalogram) .....	16
2.7 Tepelná zářivost .....	17
2.8 Chůze .....	17
2.9 Výška, váha a barva vlasů .....	17
2.10 Shrnutí.....	18
3 Senzory pro bezpilotní systém.....	19
3.1 Audio senzory (mikrofony).....	20
3.2 Radary .....	21
3.3 Infračervené senzory .....	23
3.4 Elektro-optické senzory .....	26
3.5 Zástupci senzorů .....	28
3.6 Shrnutí.....	30
4 Analýza senzorů.....	31
4.1 Parametry senzorů.....	32
4.2 Seznam senzorů (kamer) .....	36
5 Výběr vhodných senzorů .....	45
5.1 Algoritmus .....	45
5.2 Funkční parametry senzorů .....	50
6 Závěr .....	54
Seznam použité literatury .....	55
Seznam příloh .....	57

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Česky název	Anglicky název
a – Si	Amorfní křemík	Amorphous silicon
AA	Autonomní letadlo	Autonomous aircraft
AFIS	Letištní letová informační služba	Aerodrome flight information service
ATZ	Letištní provozní zóna	Aerodrome traffic zone
CCD		Charged Coupled Device
CMOS		Complementary Metal Oxide Semiconductor
CTR	Řízený okrsek	Control zone
EEG	Elektroencefalogram	Electroencephalography
EKG	Elektrokardiogram	Electrocardiography
FET	Unipolární tranzistor	Field-effect transistor
FIR	Vzdálené IR	Far infrared
GaAS	Arsenid gallity	Gallium arsenide
IR	Infračervené záření	Infrared
LWIR	IR dlouhých vlnových délek	Long-wavelength infrared
MCP	Mikro-kanálová destička	Micro-channel plate
MCTR	Vojenský řízený okrsek	Military control zone
MWIR	IR středních vlnových délek	Mid-wavelength infrared
NIR	Blízké IR	Near-infrared
RPA	Dálkově řízené letadlo	Remotely piloted aircraft
SAR	Radar se syntetickou aperturou	Synthetic aperture radar
SWIR	IR krátkých vlnových délek	Short-wavelength infrared
UAV	Bezpilotní letoun	Unmanned aerial vehicle
UAS	Bezpilotní systém	Unmanned Aircraft System
ÚCL	Úřad pro civilní letectví	Civil Aviation Authority
VOx	Oxidy vanadu	Vanadium oxide

## 0 Úvod

Cílem této diplomové práce je analýza a výběr vhodných senzorů pro použití na metrologický systém s UAS pro vyhledávání ztracených osob.

V první kapitole si řekneme co to vlastně je bezpilotní systém a jaké jsou legislativní požadavky na jeho používání. Dále se dozvíme něco o historii bezpilotních letounů, a také to jak bezpilotní systémy dělíme.

V druhé kapitole se zaměřím na biosignály člověka. Vysvětlím co to jsou biosignály, jejich příklady a něco málo o jejich využití.

Ve třetí kapitole se budu zabývat senzory pro bezpilotní systém. Popíšu senzory využívající různé druhy technologií, které se liší svými frekvenčními charakteristikami a pro různé technologie uvedu i jejich zástupce.

Čtvrtá kapitola se bude týkat analýzy senzorů a to takových, které budou použitelné jako součást konkrétního bezpilotního systému. Obecně popíšu, jaké parametry u senzorů nacházíme a vypíši také konkrétní senzory i s jejich parametry.

Pátá kapitola se bude věnovat algoritmu použitému pro výběr vhodných senzorů, a dále samotnému výběru a funkčním parametrům senzorů, tedy tomu jak velkou oblast dokážou snímat, z jaké výšky, a po jak dlouhou dobu jsou schopny detekovat cíl.

Z hlediska úvodu je třeba si říct, že v České republice se v roce 2009 pátralo celkem po 4385 pohřešovaných osobách, z tohoto počtu bylo nalezeno 4198 osob.

Počet dětí do 15 let, po kterých se pátralo v roce 2009, bylo 952, přičemž jich bylo nalezeno 932. Mladistvých od 15 do 18 let bylo za rok 2009 pohřešováno 1288, z toho se našlo 1247. Z předchozích čísel vyplývá, že celkově 187 pohřešovaných osob nebylo nalezeno. Do nenalezených pohřešovaných patří 20 dětí do 15 let a 41 mladistvých od 15 do 18 let.

Důležité je také nezapomenout na to, že se nejedná pouze o počty nalezených a nenalezených pohřešovaných osob, ale také o to, že některým z nalezených osob už nebylo bohužel pomoci. Využití bezpilotních letounů při hledání pohřešovaných osob, by tak mohlo přispět k jejich rychlejšímu nalezení a možnosti poskytnout jim včas lékařskou pomoc.



V dnešní době je běžné, že pro pátrání po pohřešovaných osobách se běžně využívá letecké techniky, jako jsou letouny, vrtulníky a bezpilotní letouny. Pravdou ale zůstává, že pokud se pátrací operace neodehrává na moři, tvoří využití letecké techniky pro pátrání menší podíl a většinu pátrání tak zajišťují pozemní jednotky. Ačkoliv lze z výšky prohledat větší oblast a rychleji, tak problémem zůstává ekonomická a technická náročnost provozu letounu a vrtulníku. Bzpilotní letouny však představují variantu, která se jeví jako nejvhodnější pro pátrání po pohřešovaných osobách. Stejně jako u jiných inovací, ale většímu využívání bezpilotních letounů brání hlavně legislativní bariéry.

Pokud zapomeneme na legislativní omezení, tak použití bezpilotních letadel při pátrání po pohřešovaných osobách je samozřejmě možné, pouze pokud takovéto letadla budou vybavena patřičnou vyhledávací technikou, která jim umožní za všech povětrnostních podmínek prohledat vymezenou oblast a s jistotou určit zda se v této oblasti nalézají či nenalézají pohřešované osoby.

Vzhledem k cílům, po kterých mají bezpilotní letadla pátrat, je vhodné je vybavit senzory schopnými detekovat biometrické údaje. Volba správných biometrických senzorů, tak bude primárním určením této diplomové práce.

# 1 Bezpilotní systém

Z hlediska porozumění dané problematiky je důležité si vysvětlit základní terminologii používanou v této práci.

UAS je anglická zkratka pro Unmanned Aircraft System, jenž lze do češtiny přeložit jako bezpilotní systém. Tento systém se skládá z bezpilotního letadla, řídicí stanice, datového spoje pro řízení a kontrolu a případně dalších prvků nezbytných pro podporu daného systému.

Bezpilotní letadlo, které tvoří prvek UAS je v anglické terminologii pojmenováno jako Unmanned Aircraft (UA). Běžně se však setkáváme s označením UAV, tedy Unmanned Aerial Vehicle.

Bezpilotní letadlo nemá na palubě přítomného pilota, který by ho ovládal. Z hlediska jeho ovládání máme poté dva typy UA, autonomní letadlo (Autonomous aircraft) a dálkově řízené letadlo (RPA – Remotely Piloted Aircraft).

Autonomní letadlo je schopné se pohybovat ve vzduchu bez zásahu pilota do jeho řízení.

Dálkově řízené letadlo je řízeno pilotem (operátorem) pomocí řídicí stanice, která se nachází na zemi.

## 1.1 Legislativa

Podmínky pro provoz bezpilotních systémů ve vzdušném prostoru České republiky nalezneme v leteckém předpisu L 2, Doplněk X – bezpilotní systémy.

V předpisu nalezneme definice bezpilotních systémů. Dále předpis říká, že hmotnost bezpilotního letadla je omezena na maximálně 20 Kg, včetně paliva, vybavení, provozních kapalin a případně nákladu.

Z hlediska bezpečnosti musí být let bezpilotního letadla prováděn tak, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Pilot musí mít také letoun neustále v přímém dohledu, pokud nedostal výjimku ÚCL. Za úkony související s bezpečným provozem letadla, jako je let, předletová příprava a kontrola je zodpovědný ten, kdo bezpilotní letadlo dálkově řídí, jestliže není dálkově řízeno, je zodpovědná osoba, která bezpilotní letadlo vypustila do vzdušného prostoru.

Pro let bezpilotního letadla je možno použít pouze prostor třídy G, letištní provozní zóny (ATZ) neřízeného letiště a v řízeném okrsku (CTR a MCTR) letiště. Pokud je v letištní provozní zóně prováděn let nad vzdušným prostorem třídy G, je nutné poskytnout bezpilotnímu letadlu letištní letovou informační službu (AFIS). V řízeném okrsku letiště smí být let prováděn pouze do výšky 100 m, pokud stanoviště řízení letového provozu nepovolí jinak, a v horizontální vzdálenosti, která je větší než 5500 m, výjimku může udělit ÚCL, nebo je možné let provést v menší vzdálenosti na základě koordinace s řízením letového provozu a provozovatelem letiště.

## **1.2 Historie bezpilotních letounů**

První bezpilotní letoun pochází z roku 1916 a nese název Aerial target, za jeho tvůrce je považován Archibald Montgomery Low. Tento letoun měl sloužit jako vzdušný cíl pro trénink střelby, pro potřeby vojska se však nakonec ukázal jako nevyužitelný.

S rozvojem nových technologií v oblasti letectví došlo i k rozvoji využitelnosti bezpilotních letounů. V období před a během 2. světové války došlo k většímu využívání bezpilotních letounů jako vzdušných terčů pro nácvik střelby, až po použití jako řízených „střel“.

Během studené války se využití bezpilotních letounů rozrostlo o použití jako průzkumných letadel, a to při mapování síl nepřátel.

Plné využití potenciálu bezpilotních letounů, nastalo až po roce 2000. Jako vždy to bylo nejprve využití v rámci vojenských operací, konkrétně při invazi do Afghánistánu a Iráku. Až později došlo k uvolnění technologií pro civilní sektor.

## **1.3 Rozdělení bezpilotních systémů**

Roztřídění UAS lze provést několika způsoby, ale mezi základní patří dělení podle konstrukce, dle účelů používání a potom podle velikosti a vytrvalosti daného UAS.

Z hlediska konstrukce rozlišujeme UAS s pevnými, rotujícími nebo mávajícími křídly a vzducholodě. Přičemž nejrozšířenější jsou UAS s pevnými a rotujícími křídly.

Podle účelů můžeme rozlišit UAS použitelné pro různé aplikace, přičemž se některé jeví čistě jako vojenské a jiné najdou uplatnění i v civilní sféře. Typy aplikací pak tedy jsou:

- vzdušný terč

- průzkum
- boj
- logistika
- výzkum a vývoj
- sledování
- vyhledávání a záchrana

Mnohé z těchto aplikací jsou přitom použitelné jak ve vojenské, tak i v civilní sféře. Důležité je také vědět, že ačkoliv je mnoho UAS využíváno pouze k jednomu účelu, najdou se i takové, které jsou schopny plnit účelů více. Pravidlem bývá, že víceúčelové UAV jsou používány ve vojenství, ale i zde najdeme UAS, které mají jediný účel.

#### *1.3.1 Vzdušný terč*

Jak je již z názvu patrné, slouží bezpilotní letoun při této aplikaci jako cvičný terč pro střelbu jak pozemním, tak leteckým střelcům. Bepilotní letoun představuje při této aplikaci nepřátelské letadlo, nebo raketu.

#### *1.3.2 Průzkum*

Jedná se o vojenskou aplikaci, kdy je úkolem UAS sbírat informace vojenského charakteru, tedy počty a rozmístění nepřátelských jednotek a případně další informace spadající do kolony průzkum.

#### *1.3.3 Boj*

Pro tuto vojenskou aplikaci je bezpilotní letoun vybavený zbraňovými systémy, většinou naváděnými střelami určenými k ničení pozemních cílů. Vzhledem k nízkým hmotnostem výzbroje, kterou je bezpilotní letoun schopný unést, jsou dané naváděné rakety použitelné pouze při ničení menších pozemních cílů, většinou teroristických vůdců. Často je pro tuto aplikaci dána přednost UAS před pilotovaným letadlem z důvodu toho, že jsou útoky prováděny na území státu, kde by v případě havárie letadla hrozilo zabití pilota.

#### *1.3.4 Logistika*

UAS je možno též použít pro transport menšího nákladu. Tento transport provádějí spíše UAS v konfiguraci s rotujícím křídlem. Právě z důvodu malé nosnosti UAS oproti klasickým letadlům s pilotem není tato aplikace příliš rozšířena.

### 1.3.5 Výzkum a vývoj

Při této civilní aplikaci je možno poslat UAV do oblasti, kde by se klasické letadlo z důvodu své velikosti nemohlo pohybovat, nebo do situací, kde hrozí nějaké nebezpečí, například uvnitř hurikánu a podobně. Avšak přesto je žádoucí tuto oblast pomocí vědeckých přístrojů na UAV prozkoumat (například měření atmosférických podmínek).

### 1.3.6 Sledování

UAV je taktéž možno použít na monitorování dopravní situace, mapování divoké zvěře, domácí bezpečnost, kontrolování stavu plynového potrubí a podobně.

### 1.3.7 Vyhledávání a záchrana

UAS vybavené pro tuto aplikaci je schopné pomocí svých senzorů najít hledaný objekt a „přivést“ na jeho pozici záchranu. Je možno pátrat jak po pohřešovaných osobách, tak po zřícených letadlech či ztracených lodích. V těchto případech bývají UAS vybavené nejrůznějšími senzory, které se odlišují použitou technologií s různou citlivostí a schopností pracovat v různých provozních podmínkách.

Tabulka 1.1 představuje rozdělení dle velikostí a vytrvalosti UAS, přičemž dané rozdělení bere v potaz pouze UAS schopné letu v troposféře.

	Název	Hmotnost (kg)	Vytrvalost (hod)	Dolet (km)	Dostup (m)
Velikost	Nano	< 0,025	< 1	< 1	100
	Micro	< 5	1	< 10	250
	Mini	< 30	< 2	< 10	300
Vytrvalost	Blízký dolet	< 150	2 - 4	10 - 30	3000
	Krátký dolet	< 200	3 - 6	30 - 70	3000
	Střední dolet	< 1,250	6 - 10	70 - 200	5000
	Dlouhý dolet	> 1,250	> 10	> 200	8000

Tab. 1.1 Rozdělení dle velikostí a vytrvalosti

## 2 Biosignály člověka

Člověk je stejně jako neživé předměty charakterizován určitými parametry, ačkoliv se některé z těchto parametrů mohou u různých lidí shodovat, tak existují parametry, které jsou pro každého člověka jedinečné a metoda, která je založena právě na jejich rozpoznávání se nazývá biometrie.

Biosignály člověka představují parametry, které biometrie ověřuje, pravdou ale zůstává, že ne každý biosignál spadá pod biometrii. Proto, aby mohl být nějaký parametr člověka považován za biometrický údaj, musí splňovat určité předpoklady:

- univerzálnost (biometrický parametr musí mít nejméně 99 procent lidí)
- jedinečnost
- trvalost (pokud možno neměnnost s časem)
- měřitelnost

V dnešní době slouží biometrie především k ověření totožnosti člověka, kdy existují databáze s biometrickými údaji. Často jsou biometrické údaje požadovány při vstupu do střežených prostor, aby byl vstup umožněn pouze oprávněným osobám. Přeneseně je tedy úkolem biometrie ověřit na základě změřených údajů, zda dotyčná osoba je v databázi osob oprávněných ke vstupu. Existuje samozřejmě i jiný přístup, kdy jsou biometrické údaje zaznamenány na přístupové kartě a s pomocí přístroje na snímání biometrických údajů jsou informace na kartě srovnávány s fyzickými parametry prověřované osoby.

Z pohledu dnešní techniky existují biometrické údaje, které se snadno detekují, a je tak jednoduché ověřit totožnost dané osoby. Existují však i údaje, jejichž ověření vyžaduje složitější techniku a trvá taktéž déle, ke kontrole takovýchto údajů se přistupuje hlavně v případech, kdy je vyžadováno zvýšené zabezpečení určitého prostoru (například vládní budovy, biologické laboratoře nebo raketové základny).

Mezi biometrické údaje, které lze snadno ověřit patří otisky prstů, dlaně, oční duhovky, srovnání obličeje nebo hlasu. Údaje, které se kontrolují složitěji jsou EKG (elektrokardiogram), EEG (elektroencefalogram), tepelná zářivost, chůze apod. Některé z přístrojů kontrolují pouze jeden parametr, ale existují i takové, které kontrolují jejich kombinaci pro zpřesnění verifikace.

## **2.1 Otisky prstů a dlaně**

Nauka zabývající se otisky prstů a dlaně se nazývá daktyloskopie. Na dlaních a prstech se nachází velké množství papilárních linií, a ty jsou právě zkoumány. Proto, aby mohl být otisk ztotožněn s konkrétní osobou, je zapotřebí velký počet identifikačních rysů. Papilární linie jsou po celý život prakticky neměnné, taktéž neexistují dva lidé, kteří by měli naprosto shodné papilární linie a je nemožné je trvale odstranit, pouze pokud bude vyříznuta zárodečná vrstva pokožky. Pro srovnání se používá až 70 referenčních bodů.

V dnešní době existuje několik technologií jak snímat papilární linie od jednoduchých optoelektronických snímačů, jež pouze pořídí obraz otisku a pomocí algoritmu provedou rozpoznání referenčních bodů, přes výhodnější rádio-frekvenční, které fungují na principu zapojení generátoru střídavého signálu na 2 desky (plocha snímače a prstu), až po modernější multispektrální biometrické snímače, které dokážou snímat parametry prstu i pod povrchem kůže.

Pravdou je, že ačkoliv dnes už existují snímače schopné skenovat prst ze vzdálenosti až 6 metrů, tak využití otisku prstů nebo dlaně, jako jednoho z biometrických údajů, který by UAS detekovalo je neproveditelné. Vzdálenost 6 metrů totiž představuje příliš nízkou výšku letu pro bezpilotní letoun. Navíc aby mohl být otisk snímán, je vyžadována aktivní účast kontrolovaného.

## **2.2 Otisk oční duhovky**

Duhovka stejně jako otisk prstu je u každého jedince jedinečná. Duhovka jako součást oka představuje velice špatně zfalšovatelný identifikační údaj. Využití otisku duhovky jako biometrického údaje použitelného pro kontrolu vstupu do střežených prostor, tak zajišťuje vysokou míru zabezpečení. Pro porovnání oční duhovky se využívá až 200 referenčních bodů.

V duhovce se nacházejí cévy, nervy a svaly. Systém zmapuje duhovku a uloží údaje do souřadnicového systému, který bere v úvahu i rozšíření zorničky. Vzdálenost pro sken duhovky je mezi 7,5 cm a 25 cm. Z údajů o maximální vzdálenosti nutné ke snímání duhovky je zřejmé, že využití oční duhovky jako biosignálu, který by byl snímán senzory bezpilotního letounu, je nemožné.

## 2.3 Biometrie obličeje

K tomu abychom mohli identifikovat obličej konkrétního jedince, využíváme poznatků z antropologie. Na lidském obličeji se nachází několik antropologicky důležitých bodů, kdy pomocí skeneru jsou vzdálenosti mezi těmito body porovnávány s údaji, které se nacházejí v databázi. Proto, aby bylo možno spolehlivě identifikovat obličej jedince, je potřeba 12 bodů nalézajících se na očích, ústech, nosu a uších, přičemž lidská tvář má až 80 identifikačních bodů. Problémem při identifikaci podle obličeje zůstává to, že obličej musí být snímán zepředu a v úhlu maximálně 20 stupňů. Další problémy způsobují různé výrazy tváře, či dlouhé vlasy nebo sluneční brýle.

Vzhledem k tomu, že dnes se již běžně používají záznamy z kamer ke zjištění totožnosti dané osoby podle jejího obličeje, je možné biometrii obličeje použít jako jeden z biosignálů, které budou senzory na bezpilotním letounu detekovat.

## 2.4 Záznam hlasu

Využívání lidského hlasu v biometrii je velmi ojedinělé, neboť stále přetrvává nedůvěra lidí v tento způsob ověřování totožnosti. Ačkoliv jsou hlasové charakteristiky u každé osoby jedinečné, problém představuje možnost pořídit zvukový záznam určité osoby. Ověřování hlasu můžeme rozdělit na dva druhy, kdy zprv je do databáze nahrané konkrétní slovo či věta společně s hlasovými charakteristikami daného jedince, nebo za druhé jsou v databázi umístěny pouze hlasové charakteristiky. V prvním případě musí osoba k ověření své totožnosti říci konkrétní frázi, která je stále stejná. V druhém případě musí jedinec říci frázi, ke které je vyzván automaticky systémem, v tomto případě může být fráze náhodně generována. V obou případech dochází k porovnání otisku hlasu jedince s databází.

Jako otisk hlasů nám slouží zvukový spektrogram, kdy na svislé ose se nachází frekvence a na vodorovné čas. Frekvence lidského hlasu může dosáhnout hodnot až 10 kHz, ale běžně se pohybuje mezi 1 až 3 kHz. Intenzita lidského hlasu se pohybuje mezi +40 dB a +60 dB.

Záznam hlasu se používá spíše jako prostředek pro ověření totožnosti, kdy je vyžadována aktivní účast ověřovaného, pravdou ale zůstává, že frekvenční rozsah audio senzorů je schopen snímat frekvenci lidského hlasu.



## 2.5 EKG (elektrokardiogram)

Jedná se o časový záznam elektrické srdeční aktivity pomocí vyšetřovací metody zvané elektrokardiografie. Pomocí několika snímačů, připevněných na těle jedince jsme schopni na základě toho, že každý stah srdečního svalu je provázen vznikem mírného elektrického napětí, zaznamenat srdeční aktivitu ve formě EKG křivky. Naměřené napětí se pohybuje od 0,5 – 4 mV, a to v závislosti na zatížení srdce a jakou část srdečního rytmu zrovna snímáme. Klidová frekvence srdce se pohybuje od 55 do 90 stahů za minutu.

EKG se používá převážně v medicíně, při zjišťování srdečních onemocnění. Pokud bychom však měli dostatečné technické možnosti, bylo by možné snímat EKG i na větší vzdálenost a tuto metodu by tedy šlo využít při hledání osob pomocí bezpilotních letounů. Při prohledávání určitého prostoru, bychom sice nebyli schopni identifikovat konkrétní osobu, ale mohli bychom rozhodnout na základě získaných dat, zda se jedná o člověka či o zvíře a podle toho dále postupovat.

## 2.6 EEG (elektroencefalogram)

Jedná se o časový záznam mozkové aktivity, která je poté zobrazena ve formě křivky. Při vyšetření jsou na povrchu hlavy připevněné elektrody, které snímají elektrické potenciály vzniklé při práci mozku. Vzhledem k tomu, že elektrické potenciály mají velmi nízkou amplitudu, je třeba z důvodu dalšího zpracování toto nízké napětí zesílit.

Aktivita mozku se liší frekvencí a amplitudou vln. Rozpoznáváme různé rytmy EEG (alfa, beta, gama, delta, theta, kappa, lambda, k-komplex a spánková vřetena), které se právě liší amplitudou a frekvencí vln. Frekvence vln se pohybují od 0,5 Hz do 50 Hz a amplitudy vln od 10  $\mu$ V do 100  $\mu$ V.

EEG se stejně jako EKG využívá převážně v medicíně, ovšem i zde je možnost uvažovat o použití této metody při vyhledávání osob za použití dálkového snímání mozkové aktivity. Pravdou však zůstává, že dnešní technické možnosti toto neumožňují, ale s tím jak jsou dnes a denně překonávány technické překážky, je možno předpokládat, že v budoucnu bude možné pomocí EEG vyhledat osobu v prohledávaném prostoru. Vše na základě toho, že přístroj zaznamená mozkovou aktivitu, a bude tedy zároveň schopen určit, zda se jedná o člověka nebo o zvíře.

## 2.7 Tepelná zářivost

Tělo každého živého člověka vydává určité teplo a toto teplo je pomocí přístrojů měřitelné. Jednotlivé části lidského těla přitom vydávají teplo s různou intenzitou. K měření tepelné zářivosti se používají infračervené kamery, neboli také termovizní kamery. Tyto přístroje jsou schopny zaznamenat vyzařované teplo tak, aby jej bylo možno vizuálně zobrazit.

Průměrná teplota lidského těla se pohybuje v rozmezí od 35,8°C do 37,3°C. V těle se však nacházejí oblasti, které dosahují i vyšších teplot. Teplota v játrech se může pohybovat okolo 39 °C.

Termovizní kamery nacházejí uplatnění v mnoha oborech, od lékařství přes kontrolu výrobků až po sledování osob. Tento způsob identifikace na rozdíl od výše jmenovaných umožňuje už dnes vyhledat osoby na velké vzdálenosti, a také proto se už běžně využívá při hledání osob pomocí bezpilotních letounů.

## 2.8 Chůze

Vzhledem k tomu, že chůze je mechanický pohyb, který vykonává člověk automaticky, je možné použít chůzi při identifikaci konkrétní osoby. Chůze není tak jedinečná jako otisky prstů nebo duhovky, ale v malém vzorku osob je vysoce nepravděpodobné, že nalezneme osoby se stejným stylem chůze, nemluvě o tom, že chůze není pouze o pohybu dolních končetin, ale také o pohybu celého těla.

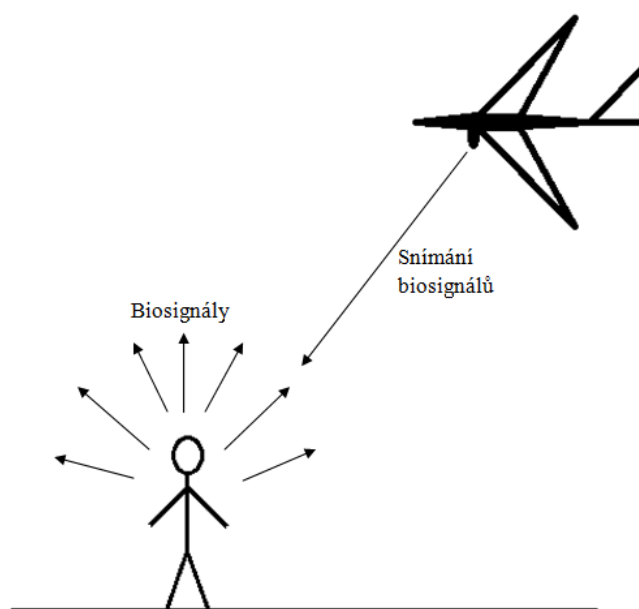
Pokud se při hledání osob zaměříme na „otisk“ chůze, tak můžeme pomocí předběžně získaných informací o hledané osobě využít výběr na to, že hledáme osobu kulhající apod. I když se tato metoda může zdát nevyužitelnou pro použití na bezpilotním letounu, tak pravdou je, že například při využití radaru schopného zaznamenat pohyb, můžeme zaznamenat pohyby celého lidského těla a rozlišit je tak například od zvíře a to i přes mraky. Chůze tak představuje jeden z možných parametrů, jenž je využitelný pro vyhledávání osob a snímatelný senzory na bezpilotních letounech.

## 2.9 Výška, váha a barva vlasů

Ačkoliv jsou tyto údaje jako samostatné u mnoha lidí totožné, tak jako celek představují parametr, který dokáže relativně přesně identifikovat konkrétního člověka, nebo alespoň zmenšit prohledávanou množinu.

Pro hledání pohřešovaných osob je možné vytvořit databázi biosignálů, jako jsou výška, váha a barva vlasů. Potom při pátrání po konkrétní osobě se bude systém pomocí algoritmu zaměřovat právě jenom na osoby odpovídající popisu, a tím bude ulehčena práce operátora UAS.

Při prohledávání určité oblasti nám tyto parametry pomohou snížit procento nesprávně označených cílů, ba dokonce pokud budeme prohledávat nezalidněné oblasti, je malá pravděpodobnost, že najdeme dvě osoby stejné výšky, váhy a barvy vlasů. Tyto parametry jsou použitelné především, pokud jako senzory použijeme klasické elektro-optické kamery s dostatečným rozlišením. Ačkoliv se tyto parametry zdají nepoužitelné, opak je pravdou a představují jeden z parametrů, který by měly senzory na UAV detekovat.



Obr. 2.1 Princip snímání biosignálů

## 2.10 Shrnutí

Některé z biosignálů je možno měřit na větší vzdálenost, jiné zase vyžadují přímý kontakt se snímacím senzorem, mezi takovéto patří EKG a EEG. Ke snímání EKG a EEG jsou totiž zapotřebí elektrody připevněné na kůži. Ostatní biometrické parametry je možno snímat z větších vzdáleností, a to díky sensorům schopným zaznamenat elektromagnetické vlnění. Jedinou další výjimkou je záznam hlasu, k jehož snímání je zapotřebí přístroj zaznamenávající mechanické vlnění.

### 3 Senzory pro bezpilotní systém

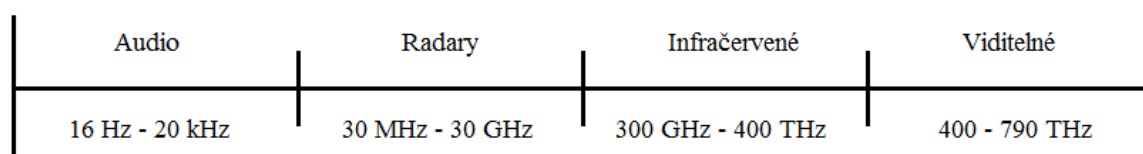
Slovník cizích slov definuje senzor jako citlivý element, snímač, nebo čidlo. Přesněji si lze senzor představit jako technické zařízení, které měří určitou fyzikální veličinu a tu poté převádí na signál, který jsme schopni zpracovat a získat tak potřebný výstup.

V této práci nám senzor představuje zařízení, pomocí kterého jsme schopni vyhledat hledanou osobu či havarované letadlo. Nepředstavuje však zařízení, které nám pomáhá s prováděním letu. Z hlediska používané terminologie je v této práci senzor chápán jako součást přístroje (kamery, radaru nebo mikrofону), ale zároveň je použit jako jiné vyjádření pro přístroj jako takový.

Pomocí senzoru na bezpilotním letounu jsme schopni měřit různé fyzikální veličiny, přičemž při použití jako součást bezpilotního systému se nejčastěji používají senzory snímající částí frekvenčního spektra.

Senzor naměří danou fyzikální veličinu, převede ji na signál, jenž může být zpracován výpočetní jednotkou, daná jednotka se může vyskytovat jak na palubě UAV tak na zemi. Pokud je řídicí jednotka na zemi, je nutné signál nejprve pomocí vysílače na zemi přenést. Výpočetní jednotka zpracuje signál tak, aby ho bylo možné zobrazit na výstupním zařízení. Operátor poté použije údaje z výstupního zařízení k identifikaci cíle a k rozhodnutí o dalším postupu.

Technologie na níž daný senzor pracuje, se může lišit s ohledem na to, jaké údaje chceme získat. V této práci se zabírám čtyřmi základními technologickými řešeními daných senzorů. Každé z těchto řešení má své výhody a nevýhody, a dané technické parametry, které limitují jejich použití. Technologie popsané v této práci pracují na principu snímání zvuku (audio senzory), vysílání a přijímání odražených signálů (radary), snímání infračerveného záření (noktovizory a termovize) a snímání viditelného záření (klasické kamery, tedy elektro-optické senzory). Obr 3.1 slouží pouze k získání představy o tom, jaké frekvence používají zde zmiňované technologie.



Obr 3.1 Schéma frekvencí

### 3.1 Audio senzory (mikrofony)

Pojem audio senzory zahrnuje všechny možné druhy čidel, které jsou schopny detekovat a zaznamenávat zvukové signály. Frekvence, které jsou audio senzory schopny snímat, se pohybují od 16 Hz do 20 kHz, tento interval představuje pásmo slyšitelných zvuků.

V dnešní době se prakticky používají z hlediska principu fungování pouze kondenzátorový, elektretový, dynamický a páskový mikrofon.

#### 3.1.1 Kondenzátorový mikrofon

Funguje tak, že zvukové vlny působí na membránu, která po rozechvění způsobí změnu kapacity kondenzátoru a tato změna se poté pomocí rezistoru, na kterém dochází ke změně úbytku napětí, převádí na elektrický signál. Kondenzátor je tvořen membránou a statickou vodivou destičkou. Vzhledem k nízké změně napětí na rezistoru je elektrický signál dále zesílen vysokoimpedančním zesilovačem. Pro své fungování vyžadují kondenzátorové mikrofony napájení.

Díky svým charakteristikám jsou považovány kondenzátorové mikrofony za nejkvalitnější a jsou používány převážně pro profesionální záznam zvuku nebo pro měřicí účely.

#### 3.1.2 Elektretový mikrofon

Jedná se o speciální typ kondenzátorového mikrofону, kdy je elektrické pole nutné pro správnou funkci mikrofону vytvářeno elektretem. Elektret je nevodivá, permanentně nabitá hmota. K zesílení signálu se používá předzesilovač, nejčastěji s FET tranzistory. Díky elektretu je napájení potřebné pouze pro předzesilovač.

Vzhledem k rozvoji dnešních technologií je možné elektretové mikrofony výrazně miniaturizovat a používají se tak převážně pro miniaturní mikrofony u sluchátek.

#### 3.1.3 Dynamický mikrofon

Pro své fungování využívá principu elektromagnetické indukce. K membráně mikrofону je připevněná cívka, která je v magnetickém poli permanentního magnetu. Jakmile je tedy membrána rozechvěná zvukovými vlnami, dojde i k pohybu cívky

v magnetickém poli magnetu a tím ke vzniku elektrického proudu, respektive elektrického napětí. Dynamický mikrofon nepotřebuje ke svému fungování napájení.

Díky své konstrukci je dynamický mikrofon relativně odolný proti poškození a vlhkosti. Nachází uplatnění především při živých vystoupeních, protože zvládá zpracovat vyšší zvuky, aniž by u něj docházelo k přebuzení.

#### *3.1.4 Páskový mikrofon*

Jedná se o speciální případ dynamického mikrofonu, kdy je membrána tvořená páskem, nejčastěji tenkou hliníkovou fólií, která je umístěna v magnetickém poli permanentního magnetu. Z důvodu nízkých napětí obvykle bývá mikrofon doplněn o převodní transformátor.

Páskový mikrofon je mnohem více náchylný na poškození, používá se proto ve studiových podmínkách.

Existují mnohé úpravy mikrofonů vzhledem k tomu, jaký je jejich účel. Pro použití na bezpilotním letounu se jako nejvhodnější jeví parabolický mikrofon, kdy parabola soustřeďuje přijímané zvukové vlny do mikrofonu i z větších vzdáleností a funguje tak podobně jako satelitní anténa. Parabolický mikrofon však může snímat zvukové vlny s vlnovou délkou mnohem menší než je průměr paraboly.

Pravdou zůstává, že tento typ senzorů představuje méně často využívané senzory. Pro vyhledávání osob jsou použitelné jedině tehdy, pokud hledaná osoba aktivně vyvíjí účast na své záchraně, tedy pokud volá o pomoc nebo vytváří hluk, aby na sebe upozornila. Ovšem i tak v členitém či zalesněném terénu nemusí audio senzor na bezpilotním letounu tuto její aktivitu zaznamenat. Nemluvě o tom, že hluk pohonné jednotky bezpilotního letounu, zaznamenaný audio senzorem, bude i po odfiltrování snižovat jeho účinnost. Daleko častěji se totiž audio senzory používají pro vojenské aplikace, při vyhledávání zdrojů střelby či exploze, jejíž intenzita hluku je podstatně vyšší. Technika však jde stále kupředu a je tedy možné, že dříve nebo později najdou audio senzory uplatnění i při vyhledávání pohřešovaných osob.

### **3.2 Radary**

Radar neboli radiolokátor je obecně definován jako zařízení, které je schopné detekovat, identifikovat a sledovat letící objekt. Krom radarů pro sledování letících objektů

taktéž existují další druhy a to jsou radary naváděcí, meteorologické, střelecké a průzkumné. Existují dva základní typy radaru a to aktivní a pasivní.

Aktivní radar funguje jako vysílač i přijímač, který vyšle elektromagnetický signál, ten se od letícího objektu odrazí a vrátí se zpátky k radaru, ten signál přijme a vyhodnotí jej, z čehož získá jeho identifikaci, polohu, směr letu a výšku. Aktivní radary můžeme dále rozdělit na primární a sekundární, kdy primární radar funguje tak jak je popsáno výše, ale sekundární radar pouze vyšle „dotaz“ a automatické systémy letadla vyšlou „odpověď“, která obsahuje údaje o letadle, jako jsou jeho identifikace, výška a případně další údaje.

Pasivní radar na rozdíl od aktivního funguje pouze jako přijímač, který detekuje elektromagnetický signál letícího objektu a na základě toho určí jeho polohu, výšku a směr letu.

Nevýhodou klasických radarů jsou jejich větší rozměry a velikost spotřebované energie, což u bezpilotních letounů představuje značný problém. Naštěstí technologie pokročila a pro bezpilotní letouny je možnost použít radar se syntetickou aperturou, který se svým principem fungování poněkud liší.

### *3.2.1 Radar se syntetickou aperturou (SAR – Synthetic Aperture Radar)*

Tento typ radaru byl vyvinut během období studené války, kdy byl instalován i na špiónážní letoun U-2. Využití tohoto radaru můžeme nalézt v monitorování životního prostředí, mapování země, vojenských aplikacích a v neposlední řadě i v civilním užití jako prostředek pro nalezení pohřešované osoby.

Výhoda SAR na rozdíl od elektro-optických a infračervených senzorů spočívá v tom, že je funkční nejenom ve dne i v noci, ale je schopen pracovat i za nepříznivých meteorologických podmínek. Díky moderní digitální technologii je možné získat z radaru snímky s vysokým rozlišením.

Princip SAR spočívá ve využití pohybu radaru, který je nesen bezpilotním letounem. To simuluje anténu velikou několik stovek metrů, za použití antény mnohokrát menší. Díky tomu jsme schopni zaznamenat území o větší rozloze a s větším rozlišením. SAR přímá za letu získaná radarová data, které poté počítač skládá ve výsledný obraz. Skládání obrazu se obvykle děje na zemi, kde je signál z bezpilotního letounu přenesen, neboť je potřeba výkonnější počítač.

SAR pracuje obvykle ve dvou kmitočtových pásmech, a to 8-10 a 12-18 GHz. Nižší kmitočet je výhodnější pro získání většího dosahu, vyšší kmitočet je zase vhodnější pro získání lepší přesnosti zobrazení cíle.

SAR je možno využít třeba při detekci pohybujících se osob, kdy systém může reagovat na změnu odraženého signálu a algoritmus poté zaměří pohybující se cíl. Pomocí vložené šablony toho jak vypadá odražený signál od člověka na rozdíl od zvířete, je poté možno zmenšit počet chybných označení cíle.

Problémem SAR je však cena, která je vyšší než u jiných zařízení použitelných pro vyhledání osob, proto je použití SAR omezeno spíše na vojenské a výzkumné oblasti, které jsou obecně lépe zafinancované.

### 3.3 Infračervené senzory

Využívají infračerveného záření (IR), jež je elektromagnetické záření s vlnovými délkami od 0,75 do 1000  $\mu\text{m}$ , a které není pro lidské oko viditelné. Frekvence infračerveného záření je od 300 GHz do 400 THz. Infračervené záření je možno na základě vlnových délek dělit do jednotlivých pásem:

NIR	Near-infrared	Blízké IR	0,75 – 1,4 $\mu\text{m}$
SWIR	Short-wavelength infrared	IR krátkých vlnových délek	1,4 – 3 $\mu\text{m}$
MWIR	Mid-wavelength infrared	IR středních vlnových délek	3 – 8 $\mu\text{m}$
LWIR	Long-wavelength infrared	IR dlouhých vlnových délek	8 – 15 $\mu\text{m}$
FIR	Far infrared	Vzdálené IR	15 – 1000 $\mu\text{m}$

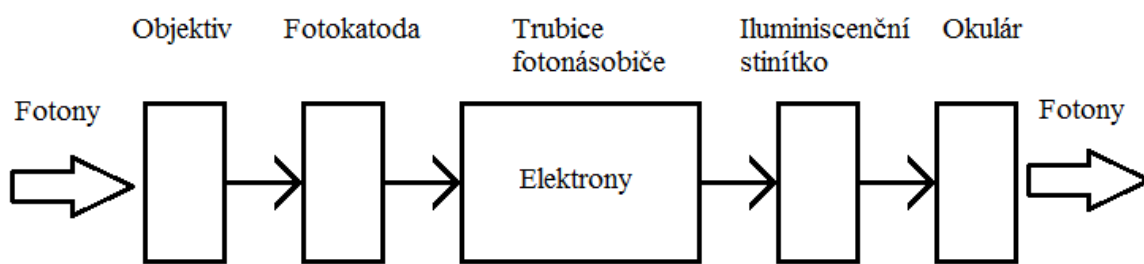
Tab. 3.1 Infračervené záření

Z hlediska principu fungování a snímané oblasti lze infračervené senzory rozdělit na dva základní typy a to senzory pro noční vidění (noktovizory) a senzory zachycující tepelné záření (termovize).

#### 3.3.1 Senzory pro noční vidění (noktovizor)

Jak z názvu vyplývá, tak tyto senzory jsou určeny pro noční pozorování. Pracují na principu „zesilování“ zbytkového světla (měsíce, hvězd atd.), fungují v pásmu 0,7 – 1  $\mu\text{m}$ , tedy NIR pásmo. Přístroj funguje tak, že fotony světla jsou objektivem usměrněny do fotokatody, kde se fotony „změní“ v elektrony. Poté vstupují do trubice fotonásobiče, kde jsou poté pomocí elektro-chemického procesu znásobeny a přivedeny k luminiscenčnímu stíníku, jež je mění ve viditelné světlo (fotony) a skrze okulár jsou usměrněny do oka uživatele. Zachycené zbytkové světlo je tak převedeno do oblastí viditelného spektra.





Obr 3.2 Principiální schéma noktovizoru

Existují čtyři generace přístrojů pro noční vidění. První generace poskytuje uživateli jasný a ostrý obraz za relativně nízkou cenu, zbytkové světlo je zesíleno až tisíci násobně. Nevýhodou je větší rozměr přístroje a mírné rozostření u okrajů snímku, jež je způsobené jevem označeným jako geometrická distorze. Přístroj navíc po vypnutí ještě chvíli slabě zeleně září.

Druhá generace je určena především pro použití u policejních jednotek, což je dáno její vyšší cenou oproti první generaci. Pro získání lepšího obrazu je do přístroje hned za fotokatodu přidána mikro-kanálová destička (Micro-Channel Plate, MCP), která se skládá z milionů paralelních skleněných trubiček, jimiž poté prochází elektrony a dochází k jejich zmnožení. Přístroj je tak schopen zesílit zbytkové světlo až dvaceti tisíckrát a taktéž dochází k zlepšení rozlišení.

Třetí generace je určena především pro použití u policejních a vojenských jednotek. Využívá taktéž mikro-kanálovou destičku jako druhá generace, ale do fotokatody je přidán arsenid galia (GaAs), který zlepšuje rozlišení přístroje a poskytuje tak vynikající obraz. MCP je navíc potažena iontovou bariérou, která prodlužuje životnost trubice.

Čtvrtá generace je určena pro použití u policejních a vojenských jednotek. Díky odstranění iontové bariéry a automatické synchronizací napájení dosahuje excelentního rozlišení a schopnosti pracovat při vysoce nízké hladině světelného osvětlení.

Problém při použití senzorů pro noční vidění však nastává v místech, kde se nevyskytuje ani zbytkové světlo, jako jsou jeskyně a sklepení, tam je potřeba použít zdroje infračerveného záření. Infračervené osvětlovače, nám také mohou posloužit k tomu, abychom dosáhli u výsledného obrazu většího rozlišení. Infračervené osvětlovače fungují jako „baterka“, a je tedy omezena vzdálenost, na které nám mohou pomoci. Infračervené osvětlovače taktéž nepokrývají celé zorné pole.

Z hlediska aplikace pro UAS k vyhledávání osob, kdy se počítá s použitím ve volném terénu, není potřeba uvažovat o použití zdroje infračerveného záření. S Infračerveným osvětlovačem bychom samozřejmě dosáhli lepšího rozlišení, ale za cenu větší spotřeby elektrické energie, což vzhledem k použití na UAS se jeví jako neefektivní.

Nevýhodou ovšem je, že se obraz zobrazuje monochromaticky, nejčastěji na zeleném stínítku. Operátor UAS, tak může mít problém na grafickém výstupu rozpoznat pohřešovanou osobu v terénu pokrytém hustou vegetací.

### *3.3.2 Senzory pro zachycení tepelného záření (termovize)*

Termovizní senzory jsou schopny zachytit infračervené záření vyzařované z povrchu pozorovaného objektu, stejně jako obyčejný fotoaparát detekuje viditelné světlo. Fungují v pásmu 0,9 až 14  $\mu\text{m}$ . Termovize je schopna pracovat jak v noci, tak ve dne. Množství záření, které objekt emituje, se odvíjí od jeho teploty. Obvykle bývají senzory schopny zobrazit jeden barevný kanál, protože nerozlišují různé vlnové délky infračerveného záření. Senzory, které jsou schopny zobrazit více barevných kanálů, vyžadují složitější konstrukci, ovšem i tak barevné schéma, které jsou schopné zobrazit, neodpovídá skutečné barvě zobrazovaného povrchu, ale intenzitě zachyceného záření. Senzor je tak schopen na základě intenzity zachyceného záření odlišně graficky zobrazit pozorované objekty.

Z hlediska přiřazení barev jsou nejteplejší oblasti zobrazovány bíle, střední teploty červeně a žlutě a nejchladnější oblasti modře. Na snímku by přitom mělo být zobrazeno i přiřazení spektra barev k teplotám.

Rozlišení senzorů je výrazně nižší než u optických kamer, obvykle 160x120 nebo 320x240 pixelů. Ovšem cena je mnohem vyšší než u optických kamer.

Existují dva typy senzorů pro zachycení tepelného záření, a to chlazené a nechlazené.

Chlazené senzory jsou náročné jak na výrobu, tak na údržbu. Jejich operační teplota je od 4 K (-269,15°C) do teploty nižší než je pokojová teplota v závislosti na použité technologii. Jejich využití je zatím spíše pouze v hlavních výzkumných astronomických teleskopech.

Nechlazené senzory pracují při pokojové teplotě, nebo jsou stabilizované na teplotu okolí, ve kterém se nacházejí. Moderní nechlazené senzory pracují se změnou odporu, napětí nebo proudu při zahřátí infračerveným zářením. Tyto změny jsou pak srovnávány

s provozní teplotou čidla. Tím, že mohou být senzory stabilizované na provozní teplotu, se sníží obrazový šum. Nicméně rozlišení a kvalita obrazu se nevyrovná chlazeným senzorům.

Výhoda senzorů zachycujících teplo spočívá v možnosti použití za různých meteorologických podmínek. Senzor je přitom schopen detekovat teplo vyzařované jedincem i na vzdálenost stovek metrů. Problémem je, že vyzařované teplo, a tedy i infračervené záření se dá celkem snadno odstínit za použití různých materiálů. Pohřešovaná osoba oblečená do takového materiálu pak nemusí být senzorem zachycena tak, aby ji byl operátor UAS schopen identifikovat. Osobu, která by byla podchlazená, by taktéž byl problém nalézt.

### 3.4 Elektro-optické senzory

Jedná se o senzory, které jsou schopny zaznamenat viditelné záření, tedy záření, které je schopno vidět i lidské oko. Viditelné záření, které senzor snímá je součástí elektromagnetického spektra a tvoří jej vlnové délky cca od 380 do 740 nm. Frekvence viditelného záření je od 400 do 790 THz.

Barva	Vlnová délka (nm)	Frekvence (THz)
Fialová	380 – 430	790 – 700
Modrá	430 – 500	700 – 600
Azurová	500 – 520	600 – 580
Zelená	520 – 565	580 – 530
Žlutá	565 – 590	530 – 510
Oranžová	590 – 625	510 – 480
Červená	625 – 740	480 – 400

Tab. 3.2 Viditelné záření

Kamery schopné snímat viditelné záření elektromagnetického spektra byly z hlediska historie prvními zařízeními schopnými zaznamenat snímanou událost či objekt do formy snímku. První kamery byly analogové a obraz, který jsme jimi získali, byl pouze černobílý. Následně jsme byli schopni zaznamenat snímaný obraz v barvě. Největší technologický pokrok však představuje schopnost snímat obraz pomocí digitální technologie namísto analogové.

Digitální kamery obsahují senzor, který využívá fyzikální jev známý jako fotoefekt. Jednoduše řečeno, pixely senzoru převedou dopadající fotony světla na elektrický signál, který je potom převeden na signál v binárním kódu a zpracován mikroprocesorem do

některého z grafických formátů. S ohledem na konkrétní technické řešení senzoru můžeme získat černobílý nebo barevný obraz.

Elektro-optické kamery používají několik typů senzorů v závislosti na použité technologii, přičemž některé z těchto senzorů jsou schopné zaznamenat jak viditelné tak NIR spektrum světla. Mezi senzory použité v elektro-optických kamerách patří CCD (Charged Coupled Device), CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), sCMOS a technologie patentované firmou Sony Corporation, které vylepšují vlastnosti předchozích zmíněných senzorů.

Hlavní rozdíl mezi CCD a CMOS senzorem spočívá v technologii a konstrukci výroby a tím pádem i ve způsobu jakým je světlo po dopadu na pixel zpracováno. CCD senzor zpracovává informace z pixelů po celých řádcích, zatímco CMOS senzor zpracovává informace z jednotlivých pixelů samostatně. Pro výrobu CCD senzoru se používá klasická technologie určená pro tvorbu obrazových senzorů. CCD senzor tak nabízí lepší citlivost oproti CMOS senzorům, ale za ceny vyšší spotřeby energie. Při výrobě CMOS senzorů se používají technologie určené k výrobě čipu do počítačů. Výhoda CMOS senzorů spočívá v jejich nižší ceně a velikosti. Hybridem mezi oběma technologiemi je sCMOS senzor.

Výhodou elektro-optických senzorů, v závislosti na použití konkrétního senzoru a technologie, je možnost docílit vysokého rozlišení s širokým spektrem barev a výborné kvality obrazu. Díky tomu jsme schopni i ze vzdálenosti stovek metrů rozpoznat a identifikovat snímané osoby, například pomocí jejich výšky váhy nebo barvy vlasů. Použití digitální kamery nám navíc umožňuje se zaznamenaným obrazem hned pracovat, tedy jakmile bude přenesen k operátorovi, bez toho abychom museli čekat, až bezpilotní letoun přistane a jím získaný snímek bude vyvolán. Moderní elektro-optické kamery navíc vynikají malými rozměry, a tedy mají i menší hmotnost a jsou energeticky méně náročné.

Nevýhody spočívají v omezení použití pouze za podmínek dobré viditelnosti, a dále v množství získaných dat, kdy kvalitní kamera bude získávat až „příliš“ informací. Pro operátora UAS může být problém rozeznat pohřešovanou osobu v nekонтastním oblečení od okolní vegetace, i když použije počítačový software zvýrazňující některé charakteristiky. Z hlediska příliš velkého objemu dat, bude taktéž problémem jejich přenos k operátorovi. Poslední nevýhodu představuje vlastnost kamery snímat pouze viditelný obraz, bude tedy nepoužitelná pro hledání pohřešovaných osob v hustém lesním porostu.

### 3.5 Zástupci senzorů

V této kapitole jsem nastínil, že z hlediska principu fungování existuje pět druhů senzorů, které je možno použít na bezpilotní letoun pro vyhledávání osob. V této podkapitole bude ke každému druhu senzoru přiřazen jeho odpovídající zástupce a popsány jeho vlastnosti.

#### 3.5.1 *Směrový mikrofon Yukon DSAS*

Jedná se o kondenzátorový mikrofon, který je určený ke snímání zvuku vzdálených objektů. Výrobcem mikrofonu je litevská firma Yukon Advanced Optics Worldwide Inc. Disponuje vysokou citlivostí (20 mV/Pa při frekvenci 1kHz), širokým frekvenčním rozsahem (500 Hz – 10 kHz) a zesílením až 66 dB. Při napájení 3V dokáže pracovat až 300 hodin. Jeho hmotnost je pouhých 0,13 kg při rozměrech 310x30x45 mm. Mikrofon má kardioidní směrovou charakteristiku, což znamená, že je potlačen snímáný zvuk ze zadu mikrofonu.

Problémem je dosah snímání, který se pohybuje pouze kolem 80 metrů, ale tento nedostatek lze vyřešit dodatečným přidáním paraboly, která tak zvýší dosah a tento mikrofon, se tak bude moci použít jako senzor pro bezpilotní letoun.

#### 3.5.2 *NanoSAR B*

Tento senzor je výrobkem americké společnosti ImSAR. Jedná se o radar se syntetickou aperturou (SAR), který je možno použít k lokalizaci a klasifikaci v dešti, sněhu, mlze, prachu a v noci. Tento SAR je schopen získat detailní snímky a najít ho můžeme například na bezpilotním letounu Tier II. NanoSAR B se všemi součástmi váží téměř 1,59 kg a spotřebuje méně než 30 wattů.

Tento radar patří především svou hmotností k senzorům nejvíce vhodným pro použití na bezpilotních letounech, ale problémem zůstává, že se jedná o technologii podléhající kontrole amerických úřadů. Ovšem jako u jiných technologií dříve nepřístupných bude nakonec i tato běžně dostupná pro civilní uživatele.

#### 3.5.3 *TAU CNV*

Jedná se o výrobek americké společnosti FLIR Systems, Inc. Tento senzor umožňuje noční vidění (monochromatické), ale zároveň je schopen zaznamenávat viditelnou část světelného spektra. Tato kamera je určena pro aplikace, kde je důležitá vysoká rychlost

snímání, nízká úroveň světla (2 mlx) a vysoké rozlišení senzoru. V této kameře je použit sCMOS senzor. Toto vše zaručuje použití ve vojenských elektro-optických systémech, bezpečnostních a sledovacích systémech. Kamera spotřebuje 4 wattů a je schopna pořídit až 30 snímku za sekundu.

Pokud tuto kameru umístíme na bezpilotní letoun, je možné hledat osoby i v noci nebo při nízkém osvětlení a budeme tak moci zvýšit šance na jejich nalezení. Nedostatkem zůstává monochromatický obraz při použití kamery v noci, ovšem s tímto je nutné počítat u všech kamer schopných zesílit zbytkové světlo.

#### *3.5.4 Pearleye-030 LWIR*

Tato kamera je schopná detekovat tepelné záření a pracuje v LWIR spektru. Senzor použitý v této kameře je nechlazený a-Si microbolometer. Tato kamera je schopná detekovat jemné rozdíly teplot s vysokou přesností. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, kontrola kvality a věda a výzkum. Výrobce této kamery je německá společnost Allied Vision Technologies, GmbH. Kamera je schopna pořídit až 24 snímku za sekundu. Nevýhodou je nízké rozlišení a vyšší spotřeba elektrické energie (18 wattů), obojí je však u kamer snímajících tepelné záření běžné.

Při použití na bezpilotním letounu, budeme mít kameru schopnou fungovat jak ve dne, tak v noci a zároveň i přes oblačnost a méně hustý lesní porost. Problémem je omezení provozní teploty na interval 0°C až +35°C, což by vyžadovalo úpravy, aby se tohoto dosáhlo.

#### *3.5.5 Sony FCBEH3300*

Jedná se o HD barevnou kameru určenou pro zabudování do systému. Kamera využívá senzor Exmor CMOS. Její předností je možnost vysokého zoomu a vysokého rozlišení. Je schopna snímat obraz i za nízkého osvětlení a to 30 snímku za sekundu. Spotřeba elektrické energie činí přitom pouze 3,4 wattů. Tato kamera je vhodná pro bezpečnostní aplikace. Výrobce je firma Sony Corporation.

Za dobrého počasí tato kamera díky vysokému rozlišení poskytne operátorovi UAS dostatek obrazových dat při hledání osob v otevřeném terénu. Problém nastane za zhoršené viditelnosti a při přelétávání zalesněného území, kdy tato kamera vzhledem ke svým parametrům bude nepoužitelná.

### 3.6 Shrnutí

Jednotlivé typy senzorů je možno použít ke snímání pouze některých druhů biosignálů. Z toho dále tedy vyplývá, zda je daný senzor možno použít na vyhledávání pohřešovaných osob.

Audio senzory zaznamenávají pouze zvukové vlny, tedy mechanické vlnění. Z toho plyne, že jejich použití je omezeno pouze na snímání biosignálu, jakým je záznam hlasu. K detekování ostatních druhů biosignálů je totiž potřeba senzorů zaznamenávajících elektromagnetické vlnění a k snímání EKG a EEG je zapotřebí elektrod, které měří elektrické napětí, nikoliv akustické vlnění.

SAR senzory jsou vhodné především k získání biosignálu, jakým je chůze a případně dalších parametrů, jako jsou výška a váha, které vlastně charakterizují tvar lidské postavy.

Infračervené senzory je možno použít prakticky pouze pro snímání parametrů, jakými jsou tepelná zářivost, výška a váha. Pro snímání ostatních parametrů nedosahují infračervené senzory dostatečného rozlišení.

Elektro-optické senzory snímají největší počet biosignálů. Je možné s nimi snímat otisky prstů, dlaně a duhovky, biometrii obličeje, chůzi, výšku, váhu a barvu vlasů. Možnosti snímat velké množství parametrů je dosaženo díky vysokému rozlišení, jakého dosahují moderní elektro-optické senzory.

## 4 Analýza senzorů

V předchozí kapitole všech pět výše zmíněných zástupců různých technologií nám představilo možnosti jak vybavit bezpilotní letouny, tak aby efektivně vyhledávaly pohřešované osoby. Pravdou však zůstává, že bez omezujících podmínek je nemožné přesně určit, jaké senzory jsou pro použití na bezpilotní letoun nejvhodnější. Právě proto, že výběr konkrétních senzorů se vždy odvíjí od toho, na který konkrétní bezpilotní letoun mají být umístěné.

Vzhledem k tomu, že Ústav letecké dopravy, Vysoké školy Báňské disponuje funkčním bezpilotním letounem, jeví se jako nejvhodnější použít omezující parametry právě tohoto letounu a to především omezení z hlediska užitečného zatížení. Maximální hmotnost senzoru by tedy neměla překročit 1 kg, což by mělo zajistit rezervu i pro použití dalších zařízení nutných k použití UAS jako pátracího a identifikačního prostředku.

Vzhledem k omezením, které nám vyplývají ze specifikace bezpilotního letounu, na které mají být senzory upevněné, je třeba omezit základní množinu přípustných senzorů. Na základě omezení je možné použít pouze elektro-optické a infračervené senzory.

Jak již bylo zmíněno dříve, tak elektro-optické kamery využívají jako senzor CCD, CMOS, sCMOS a dále taktéž patenty společnosti Sony Corporation, jako jsou HAD (Hole Accumulation Diode) technologie, která umožňuje snížení šumu v CCD nebo CMOS senzorech. EXview HAD CCD technologie, která nabízí lepší kvalitu obrazu i při nízkém osvětlení. A taktéž technologie Exmor CMOS, kdy senzor nabízí výbornou kvalitu i při vysokém zoomu.

Infračervené kamery, které jsou obsažené v této práci, na rozdíl od elektro-optických používají jako senzor microbolometer, což je čidlo schopné detekovat tepelné záření a nevyžaduje chlazení. V této práci jsou zmíněny kamery využívající dvě technologie microbolometrů, které se liší pouze materiálem použitým k detekci tepelného záření a to VOx a a-Si.

V rámci jednoduché úvahy je možné vydedukovat, že pokud to omezení konkrétního bezpilotního letounu dovolí, je nejlepší použít oba typy senzorů zároveň, to znamená jak elektro-optické, tak i infračervené senzory. Výsledný systém by nám měl v součtu poskytnout vysoké rozlišení a zároveň použití za každého počasí.



Elektro-optické senzory pro nás představují nejrozšířenější podмноžinu senzorů z množiny všech použitelných senzorů. Elektro-optické senzory tvoří část systému, která je určena pro použití za dobré viditelnosti a v nezalesněném terénu. Svým vysokým rozlišením poskytují operátorovi skvělý nástroj pro detekci hledaných osob.

Infračervené senzory představují část systému dokonale využitelnou pro použití za špatné viditelnosti, v noci nebo v zalesněném terénu. Z infračervených senzorů jsou nejpraktičtější senzory pro zachycení tepelného záření, které je možno použít právě za všech výše jmenovaných situací, problémem je jejich snímkovací frekvence. Senzory pro noční vidění mají naproti tomu dostatečně vysokou snímkovací frekvenci, ale nelze je použít v zalesněném terénu.

Radary se syntetickou aperturou byly z množiny použitelných senzorů vyjmuty na základě omezení o maximální možné hmotnosti senzorů použitelných pro konkrétní bezpilotní letoun. Jediným senzorem typu SAR, který se alespoň blížil váhovému omezení, byl NanoSAR B společnosti ImSAR, který můžeme najít na bezpilotním letounu Tier II, avšak hmotnost tohoto senzoru je i se všemi součástmi téměř 1,59 kg.

Rozhodnutí pro vyloučení audio senzorů bylo učiněno na základě omezení upotřebitelnosti, neboť v dnešní době jsou audio senzory nepoužitelné jako přístroje určené pro vyhledávání osob pomocí UAS. Jak již bylo napsáno, účinnost audio senzoru by byla snížena hlukem motoru bezpilotního letounu a takovýto senzor by zaznamenával veškerý zvuk v jeho akustickém poli a bylo by třeba použít sofistikovaný software pro odfiltrování šumu a získání potřebných dat pro lokalizaci hledané osoby. Problém taktéž nastává s účinností daného audio senzoru, kdy jenom uvažovat o jeho použití je možné pouze pokud, by byl vybaven parabolickým zrcadlem. Parabola by však negativně působila na aerodynamiku bezpilotního letounu, z důvodu zvýšení odporu vzduchu.

Použití mikrofonu s parabolou je možné jedině tehdy pokud by se s ním počítalo už při samotné konstrukci bezpilotního letounu. Na základě toho by se parabola s mikrofonom umístila například přímo do křidel nebo do trupu a nezhoršovala tak aerodynamické vlastnosti letounu.

#### **4.1 Parametry senzorů**

Ačkoliv se jednotlivé typy senzorů liší svou použitou technologií, tak většina parametrů, které jsou pro rozhodování o použitelnosti senzoru pro uživatele důležité, jsou u

všech senzorů k dispozici. Je tedy možné porovnat a určit jaký senzor daného typu a poté jaká kombinace daných senzorů by byla nejvhodnější pro použití na bezpilotním letounu pro vyhledávání osob. Pravdou však zůstává, že některé z parametrů se nacházejí pouze u určitého typu senzorů, a krom toho někteří z výrobců neuvádějí všechny parametry, které je možno u daného typu senzoru měřit.

#### *4.1.1 Rozlišení senzorů*

Rozlišení v našem případě představuje počet pixelů daného senzoru, na které dopadá záření a dle množství dopadajícího záření poté poskytuje výstupní signál. Uvádí se jako počet sloupců krát počet řádků. Tento parametr je pro nás důležitý neboť nám určuje jaké množství („plochu“) záření je schopen senzor zachytit to však samozřejmě v závislosti na dalším parametru, jímž je rozteč mezi pixely. Obecně lze tedy říci, že čím vyšší je rozlišení senzoru tím více zachytíme záření a tím pro nás lépe. Protože rozlišení senzoru může být matoucí údaj, tak při výběru vhodného senzoru tento údaj převedeme na celkový počet pixelů, a tím budeme moci lépe určit výhodnost určitého senzoru.

#### *4.1.2 Rozteč mezi pixely*

Představuje vzdálenost mezi jednotlivými pixely, nejčastěji se jedná o vzdálenost diagonální, někdy však bývá udávána horizontální vzdálenost. Rozteč mezi pixely je v našem případě udávána v  $\mu\text{m}$ . Vzhledem k použití platí, že čím menší je rozteč mezi pixely, tím ostřejší jsme schopni zaznamenat obraz.

#### *4.1.3 Spektrální rozsah*

Tento parametr nám slouží k získání informace o tom jaké rozmezí vlnových délek je schopen senzor zachytit.

#### *4.1.4 Sensitivita (citlivost)*

Ačkoliv může mít tento parametr množství významů, v našem případě se používá jako měřítko citlivosti senzoru detekující tepelné záření. Jeho hodnota představuje nejmenší možný rozdíl jaký je schopný přístroj naměřit, z toho jasně plyne, že hodnota tohoto parametru by měla být co nejmenší. Používanou jednotkou je mili-kelvin (mK).

#### 4.1.5 *Dynamic range (dynamický rozsah)*

Dynamický rozsah lze obecně popsat jako rozdíl mezi dvěma hodnotami. V našem případě nám udává nejvyšší možný celkový rozsah, jaký můžeme na daném snímku nalézt. Udává se jako poměr, např. 400:1. Je to vlastně rozdíl mezi nejtmaším a nejsvětlejším místem na snímku. Z hlediska použití přístrojů zaznamenávajících viditelné spektrum by měl být poměr co největší, aby se obraz snímáný senzorem co nejvíce podobal obrazu tak, jak ho vidí lidské oko. Problém s tímto parametrem nastává v případech, kdy jeho hodnotu výrobce uvádí v decibelech (dB), které je nutno převést. Převod se provádí, že hodnotu v dB vydělíme číslem 20 a výsledné číslo poté použijeme jako mocnitol u čísla 10, jakmile číslo 10 umocníme tak výslednou hodnotu  $X$  napíšeme jako poměr ku 1.

#### 4.1.6 *Vibrace*

Tento parametr nám slouží k získání představu jakou hodnotu vibrací je senzor schopen zvládnout. Čím vyšší je hodnota tím lépe.

#### 4.1.7 *Exposure time (expoziční čas)*

Exposure time nám dává informaci o tom jakého expozičního času je kamera schopna docílit. V podstatě se jedná o to, jak dlouho bude závěrka kamery otevřena a umožní tak světlu dopadat na obrazový senzor. Pokud například budeme snímat vodu tekoucí ze skály, tak při časech okolo 1 s se pohybující voda bude jevit jako rozmazaná, ale naopak při časech okolo 1  $\mu$ s, bude možno rozpoznat u tekoucí vody jednotlivé kapky vody. Opačný princip lze spatřit v tom, že se snímáný objekt nepohybuje, ale naopak se pohybuje kamera s obrazovým senzorem. Jsme tak schopni využít kameru s krátkým expozičním časem pro použití v UAS, a tím docílit přesného snímání obrazu země i při vyšších rychlostech bezpilotního letounu.

#### 4.1.8 *Noise (šum)*

Existuje mnoho významů šumu a to v závislosti na použitém kontextu. V našem případě se jedná o různobarevné zrnění. Když dopadne foton na snímací senzor, tak ten vygeneruje příslušný elektrický signál. Tento signál může být ale ovlivněn jiným elektromagnetickým zářením nebo teplotou polovodičových součástek a tak dojde ke vzniku příslušného šumu. Ke vzniku šumu mohou také přispět nerovnoměrnosti struktury, teplotní kmity krystalové mřížky nebo přesun náboje ze senzoru. Hodnota šumu bývá udávána v elektronech, kdy je žádoucí, aby její hodnota byla co nejmenší.

#### *4.1.9 Snímkovací frekvence*

Tento parametr nám udává kolik snímků je schopen senzor zaznamenat. Jednotky jsou buďto v fps (frames per second) nebo v Hz, v obou případech se jedná o počet snímků za sekundu. Pro naše použití je vhodné, aby hodnota snímkovací frekvence byla co největší, přičemž lidské oko vnímá jako plynulý obraz 25 snímku za sekundu. Pokud bude hodnota snímkovací frekvence nižší než 25 fps, bude se obraz zaznamenaný senzorem na připojeném monitoru zobrazovat trhavě.

#### *4.1.10 Quantum efficiency (kvantová účinnost)*

Je hodnota definovaná pro fotocitlivé zařízení (např. fotografický film, CCD, CMOS, InGaAs atd.). Tato hodnota je vyjádřena v procentech z fotonů, které dokáže dané zařízení zachytit. Zjednodušeně nám udává velikost citlivosti daného obrazového senzoru na světlo. Často se uvádí krom procent i vlnový rozsah, pro který je daná hodnota v procentech určena.

#### *4.1.11 Provozní teplota*

Jedná se o důležitý parametr, který nám omezuje použití senzoru pouze při určitém intervalu teplot. Z našeho hlediska je pro nás důležitý, neboť uvažujeme o použití senzoru na bezpilotním letounu a hodnota provozní teploty tak může omezovat použití UAV vzhledem k výšce letu a roční nebo denní době. V našem případě bude nejdůležitější hodnotou spodní hranice omezení. Bude tedy třeba dávat si pozor na provoz ve vyšších výškách, v zimě a v noci, kdy teplota vzduchu může klesnout i pod 0°C.

#### *4.1.12 Napájení*

Tento parametr tvoří dvě části a to hodnota napětí a spotřeby. Hodnota napětí se udává v VDC (Voltage Direct Current), což lze do češtiny přeložit jako množství voltů stejnosměrného proudu. Jednotkou spotřeby je naproti tomu watt (W). Pro uživatele bezpilotního letounu je žádoucí, aby hodnota spotřeby byla co nejmenší a senzor tak zbytečně nezatěžoval energetický systém letounu.

#### *4.1.13 Minimální intenzita osvětlení*

Jedná se o parametr, který nám udává, jaké minimální množství světla je potřebné, aby byl senzor schopen zaznamenat obraz alespoň v minimální kvalitě. Jako jednotka intenzity osvětlení se používá Lux (lx). Pro lepší představu si můžeme uvést, že bezměsíčná jasná

obloha nám poskytne intenzitu 0,002 lx, úplněk 0,27 – 1 lx, velmi zatažený den 50 lx, slunečný den 10000 – 25000 lx a přímý sluneční svit dokáže na povrchu způsobit intenzitu osvětlení od 32000 do 130000 lx.

#### 4.1.14 Hmotnost a rozměry senzorů

Ačkoliv se tyto dva parametry mohou zdát jako méně důležité například oproti rozlišení senzorů, opak je pravdou, neboť právě tyto parametry nám určují, zda je možné daný senzor použít na konkrétní bezpilotní letoun. Každý bezpilotní letoun stejně jako klasické letadlo může unést pouze omezené množství nákladu a stejně tak je omezen i prostor pro tento náklad. Vzhledem k přesahujícím rozměrům nákladu je samozřejmě možnost senzor umístit například pod křídlo, ale zde je třeba uvažovat, jak to ovlivní aerodynamiku letounu. Proto je nejvhodnější volit senzor s co nejmenší hmotností a rozměrem při udržení ostatních parametrů v takové míře, aby bylo možné bezpilotní letoun stále použít pro vyhledávání pohřešovaných osob.

## 4.2 Seznam senzorů (kamer)

Všechny níže vypsane senzory byly vybrány na základě toho, že jejich výrobce nebo jejich parametry zaručovali použití jako senzorů vhodných pro snímání biosignálů a to i z výšky několika stovek metrů. Dané senzory je tedy možno použít pro bezpilotní letoun určený k vyhledávání pohřešovaných osob.

### 4.2.1 Tau CNV, FLIR Systems, Inc.

Hmotnost	175 g	Snímkovací frekvence	30 fps
Rozměr	48 × 49,4 × 64,5 mm	Kvantová účinnost	>50% v 600 nm
Napájení	4W/12VDC	Šum	<2 e <sup>-</sup>
Provozní teplota	-20/+55°C	Formát objektivu	2/3"
Rozlišení senzoru	1280 x 960	Min. intenzita osvětlení	0,002 lx
Rozteč mezi pixely	6,5 μm		

Tab. 4.1 Tau CNV

### 4.2.2 Tau 320, FLIR Systems, Inc.

Jedná se o termovizní kameru pracující v LWIR spektru. Verze určená pro export (mimo USA) má sníženou snímkovací frekvenci na 7,5 fps pro NTSC a 8,3 pro PAL kódování. Senzor použitý v této kameře je nechlazený VOx microbolometer.

Hmotnost	72 g	Vibrace	4,3 G
Rozměr	44,5 × 44,5 × 30 mm	Digitální zoom	2x, 4x
Napájení	1W/4-6VDC	Rozsah snímaných teplot	-40/+160°C
Provozní teplota	-40/+80°C	Spektrální rozsah	7,5 – 13,5μm
Rozlišení senzoru	320 x 256	Citlivost	<50 mK
Rozteč mezi pixely	25 μm	Formát objektivu	19 mm
Snímkovací frekvence	7,5 fps NTSC a 8,3 PAL		

Tab. 4.2 Tau 320

#### 4.2.3 Tau 640, FLIR Systems, Inc.

Jedná se o nechlazený termovizní senzor pracující v LWIR spektru. Verze určená pro export (mimo USA) má sníženou snímkovací frekvenci na 7,5 fps pro NTSC a 8,3 pro PAL kódování. Senzor použitý v této kameře je nechlazený VOx microbolometer.

Hmotnost	80 g	Vibrace	4,3 G
Rozměr	44,5 × 44,5 × 30 mm	Digitální zoom	2x, 4x, 8x
Napájení	1,2W/4-6VDC	Rozsah snímaných teplot	-40/+160°C
Provozní teplota	-40/+80°C		
Rozlišení senzoru	640 x 512	Spektrální rozsah	7,5 – 13,5μm
Rozteč mezi pixely	17 μm	Citlivost	<50 mK
Snímkovací frekvence	7,5 fps NTSC, 8,3 PAL	Formát objektivu	19 mm

Tab. 4.3 Tau 640

#### 4.2.4 Raven-384, (Xenics, NV)

Jedná se o kameru zachycující tepelné záření, která pracuje v LWIR spektru. Senzor použitý v této kameře je nechlazený a-Si microbolometer. Tato kamera je speciálně určena pro použití v bezpečnostních aplikacích, jako jsou ostraha hranic, sledování, dopravní bezpečnost, a také pátrací a záchranné operace. Software integrovaný do kamery zajišťuje výbornou kvalitu obrazu bez nutnosti nastavování.

Hmotnost	500 g (bez objektivu)	Snímkovací frekvence	50 fps NTSC
Rozměr	70 × 74 × 65 mm	Vibrace	4,5 G
Napájení	3,4W/12VDC	Rozsah snímaných teplot	-20/+120°C
Provozní teplota	0/+50°C	Spektrální rozsah	8 – 14μm
Rozlišení senzoru	384 x 288	Citlivost	50mK
Rozteč mezi pixely	25 μm	Formát objektivu	18 mm

Tab. 4.4 Raven-384

#### 4.2.5 Raven-640-Analog 25 $\mu$ m, (Xenics, NV)

Jedná se o kameru zachycující tepelné záření, která pracuje v LWIR spektru. Senzor použitý v této kameře je nechlazený a-Si microbolometer. Tato kamera je speciálně určena pro použití v bezpečnostních aplikacích, jako jsou ostraha hranic, sledování, dopravní bezpečnost, a také pátrací a záchranné operace. Software integrovaný do kamery zajišťuje výbornou kvalitu obrazu bez nutnosti nastavování.

Hmotnost	500 g (bez objektivu)	Snímkovací frekvence	30 fps NTSC
Rozměr	70 × 74 × 65 mm	Vibrace	4,5 G
Napájení	3,4W/12(24)VDC	Spektrální rozsah	8 – 14 $\mu$ m
Provozní teplota	0/+50°C	Citlivost	50mK
Rozlišení senzoru	640 x 480	Formát objektivu	18 mm
Rozteč mezi pixely	25 $\mu$ m		

Tab. 4.5 Raven-640-Analog 25  $\mu$ m

#### 4.2.6 Raven-640-Analog 17 $\mu$ m, (Xenics, NV)

Jedná se o kameru zachycující tepelné záření, která pracuje v LWIR spektru. Senzor použitý v této kameře je nechlazený a-Si microbolometer. Tato kamera je speciálně určena pro použití v bezpečnostních aplikacích, jako jsou ostraha hranic, sledování, dopravní bezpečnost a také pátrací a záchranné operace. Software integrovaný do kamery zajišťuje výbornou kvalitu obrazu bez nutnosti nastavování. Kamera je navíc schopná použití při daleko větším teplotním rozsahu.

Hmotnost	200 g (bez objektivu)	Snímkovací frekvence	30 fps NTSC
Rozměr	49 × 49 × 67 mm	Vibrace	4,5 G
Napájení	2,6W/12VDC	Spektrální rozsah	8 – 14 $\mu$ m
Provozní teplota	-40/+60°C	Citlivost	50mK
Rozlišení senzoru	640 x 480	Formát objektivu	18 mm
Rozteč mezi pixely	17 $\mu$ m		

Tab. 4.6 Raven-640-Analog 17  $\mu$ m

#### 4.2.7 Miracle XT<sub>i</sub> Technology, Termoteknix Systems, Ltd.

Jedná se o senzor zachycující tepelné záření. Tento senzor neobsahuje žádné pohyblivé části.

Hmotnost	68 g	Rozteč mezi pixely	25 $\mu$ m
Rozměr	39,1 × 40 × 44 mm	Snímkovací frekvence	50 fps
Napájení	2,5W/12VDC	Digitální zoom	2x, 4x, 8x
Provozní teplota	-20/+50°C	Spektrální rozsah	8 – 12 $\mu$ m
Rozlišení senzoru	384 x 288	Citlivost	≤50mK

Tab. 4.7 Miracle XT<sub>i</sub> Technology

#### 4.2.8 Pearleye-007 LWIR, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o kameru detekující tepelné záření a pracující v LWIR spektru. Senzor použitý v této kameře je nechlazený a-Si microbolometer. Tato kamera je schopná detekovat jemné rozdíly teplot s vysokou přesností. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, kontrola kvality a věda a výzkum.

Hmotnost	830 g	Snímkovací frekvence	40 fps
Rozměr	133,7 × 90 × 86 mm	Vibrace	2 G
Napájení	18W/12VDC	Rozsah snímaných teplot	-20/+80°C
Provozní teplota	0/+35°C	Spektrální rozsah	8 – 14μm
Rozlišení senzoru	320 x 240	Citlivost	≤80mK
Rozteč mezi pixely	35 μm	Formát objektivu	18 mm

Tab. 4.8 Pearleye-007 LWIR

#### 4.2.9 Pearleye-030 LWIR, Allied Vision Technologies, GmbH.

Hmotnost	760 g	Snímkovací frekvence	24 fps
Rozměr	133,7 × 90 × 86 mm	Vibrace	2 G
Napájení	18W/12VDC	Rozsah snímaných teplot	-20/+80°C
Provozní teplota	0/+35°C	Spektrální rozsah	8 – 14μm
Rozlišení senzoru	640 x 480	Citlivost	<80mK
Rozteč mezi pixely	25 μm	Formát objektivu	18 mm

Tab. 4.9 Pearleye-030 LWIR

#### 4.2.10 Prosilica GE1910, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o černobílou kameru zachycující viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Zaznamenává obraz ve vysokém rozlišení. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, lékařství, doprava, letectví a kosmonautika.

Hmotnost	178 g	Snímkovací frekvence	32 fps
Rozměr	80 × 51 × 39 mm	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Napájení	5W(12V)/5-24VDC	Šum	12 e <sup>-</sup>
Provozní teplota	0/+50°C	Dynamický rozsah	>1500:1
Rozlišení senzoru	1920 x 1080	Formát senzoru	2/3“
Rozteč mezi pixely	5,5 μm		

Tab. 4.10 Prosilica GE1910

#### 4.2.11 Prosilica GC2450, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o monochromatickou kameru s velmi vysokým rozlišením, která zachycuje viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, dopravní bezpečnost a 3-D metrologie.



Hmotnost	106 g	Rozteč mezi pixely	3,45 $\mu\text{m}$
Rozměr	59 × 46 × 33 mm	Snímkovací frekvence	15 fps
Napájení	3,8W(12V)/5-24VDC	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Provozní teplota	0/+40°C	Formát senzoru	2/3“
Rozlišení senzoru	2448 x 2050		

Tab. 4.11 Prosilica GC2450

#### 4.2.12 Prosilica GE4000, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o kameru s velmi vysokým rozlišením, která zachycuje viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, dopravní bezpečnost, dálkové snímání a 3-D metrologie.

Hmotnost	402 g	Snímkovací frekvence	5 fps
Rozměr	110 × 66 × 66 mm	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Napájení	6W(12V)/5-24VDC	Šum	30 e <sup>-</sup>
Provozní teplota	0/+50°C	Dynamický rozsah	>1900:1
Rozlišení senzoru	4008 x 2672	Formát senzoru	35 mm
Rozteč mezi pixely	9 $\mu\text{m}$		

Tab. 4.12 Prosilica GE4000

#### 4.2.13 Prosilica GE4900, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o kameru s velmi vysokým rozlišením, která zachycuje viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Je určena především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, dopravní bezpečnost, dálkové snímání a 3-D metrologie.

Hmotnost	391 g	Snímkovací frekvence	3 fps
Rozměr	110 × 66 × 66 mm	Kvantová účinnost	>45% v 500 nm
Napájení	6W(12V)/5-24VDC	Šum	16 e <sup>-</sup>
Provozní teplota	0/+50°C	Dynamický rozsah	>1700:1
Rozlišení senzoru	4872 x 3248	Formát senzoru	35 mm
Rozteč mezi pixely	7,4 $\mu\text{m}$		

Tab. 4.13 Prosilica GE4900

#### 4.2.14 Prosilica GT1660, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o kameru zachycující viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Zaznamenává obraz ve vysokém rozlišení. Je určena do extrémních prostředí, tedy především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, dopravní bezpečnost, vojenství a kosmonautika.

Hmotnost	224 g	Snímkovací frekvence	62 fps
Rozměr	92 × 53,3 × 33 mm	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Napájení	5,1W(12V)/7-25VDC	Šum	12 e <sup>-</sup>
Provozní teplota	-20/+60°C	Dynamický rozsah	>1500:1
Rozlišení senzoru	1600 x 1200	Formát senzoru	2/3“
Rozteč mezi pixely	5,5 μm		

Tab. 4.14 Prosilica GT1660

#### 4.2.15 Prosilica GT2450, Allied Vision Technologies, GmbH.

Jedná se o kameru zachycující viditelné spektrum světla. Kamera využívá CCD senzor. Zaznamenává obraz ve vysokém rozlišení. Je určena do extrémních prostředí a proměnlivých světelných podmínek, tedy především pro aplikace, jako jsou sledování, veřejná bezpečnost, dopravní bezpečnost, vojenství a kosmonautika.

Hmotnost	211 g	Rozteč mezi pixely	3,45 μm
Rozměr	86 × 53,3 × 33 mm	Snímkovací frekvence	15 fps
Napájení	3,8W(12V)/7-25VDC	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Provozní teplota	-20/+65°C	Formát senzoru	2/3“
Rozlišení senzoru	2448 x 2050		

Tab. 4.15 Prosilica GT2450

#### 4.2.16 Sony XCEI30, Sony Corporation

Tato černobílá kamera funguje jak ve viditelném, tak v NIR spektru. Kamera využívá CCD senzor s HAD technologií. Je schopna zaznamenávat obraz v prostředí s velmi nízkým osvětlením. Její předností je velmi nízká hmotnost a malá energetická náročnost.

Hmotnost	50 g	Snímkovací frekvence	30 fps
Rozměr	29 × 29 × 32 mm	Vibrace	10 G
Napájení	1,4W(12V)/9-16VDC	Spektrální rozsah	0,6 – 1 μm
Provozní teplota	-10/+50°C	Expoziční čas	1/100 – 1/10000 s
Rozlišení senzoru	768 x 494	Formát senzoru	1/3“
Rozteč mezi pixely	7,4 μm	Min. intenzita osvětlení	0,2 lx

Tab. 4.16 Sony XCEI30

#### 4.2.17 Sony XCGV60E, Sony Corporation

Jedná se o monochromatickou kameru pracující ve viditelném spektru světla. Kamera využívá CCD senzor. Je určena především pro získávání velkého množství dat, které poté pomocí rozhraní je schopná posílat na velké vzdálenosti.

Hmotnost	145 g	Snímkovací frekvence	90 fps
Rozměr	44 × 33 × 67,5 mm	Vibrace	10 G
Napájení	3,1W/10,5-15VDC	Expoziční čas	2 – 1/100000 s
Provozní teplota	-5/+45°C	Formát senzoru	1/3“
Rozlišení senzoru	640 x 480	Min. intenzita osvětlení	< 1 lx
Rozteč mezi pixely	7,4 μm		

Tab. 4.17 Sony XCGV60E

#### 4.2.18 Sony XCGSX97E, Sony Corporation

Jedná se o černobílou kameru pracující ve viditelném spektru světla. Kamera využívá CCD senzor. Je určena především pro získávání velkého množství dat, které poté pomocí rozhraní je schopná posílat na velké vzdálenosti. Dosahuje velkého rozlišení, ale za cenu nižší snímkovací frekvence.

Hmotnost	145 g	Snímkovací frekvence	16 fps
Rozměr	44 × 33 × 67,5 mm	Vibrace	10 G
Napájení	3,1W/10,5-15VDC	Expoziční čas	2 – 1/100000 s
Provozní teplota	-5/+45°C	Formát senzoru	2/3“
Rozlišení senzoru	1360 x 1024	Min. intenzita osvětlení	< 0,2 lx
Rozteč mezi pixely	6,45 μm		

Tab. 4.18 Sony XCGSX97E

#### 4.2.19 Sony FCBEX1000, Sony Corporation

Jedná se o barevnou kameru určenou pro zabudování do systému. Její předností je možnost vysokého zoomu. Díky speciálnímu senzoru (EXview HAD CCD) je také schopna vysoké citlivosti v prostředích s nízkou úrovní osvětlení. Je vhodná pro užití v bezpečnostních a sledovacích aplikacích.

Hmotnost	230 g	Počet pixelů (přibližně)	380000
Rozměr	50 × 57,5 × 87,9 mm	Digitální zoom	12x
Napájení	4W/6-12VDC	Snímkovací frekvence	60 fps
Provozní teplota	0/+50°C	Expoziční čas	1/1 – 1/10000 s
Horizontální rozlišení	470 řádku	Formát senzoru	1/4“
Optický zoom	36x	Min. intenzita osvětlení	0,1 lx

Tab. 4.19 Sony FCBEX1000

#### 4.2.20 Sony FCBEH3300, Sony Corporation

Hmotnost	240 g	Snímkovací frekvence	30 fps
Rozměr	50 × 60 × 89,7 mm	Digitální zoom	12x
Napájení	3,4W/6-12VDC	Expoziční čas	1/1 – 1/10000 s
Provozní teplota	-5/+60°C	Formát senzoru	1/4“
Rozlišení senzoru	1280 x 720	Min. intenzita osvětlení	<0,1 lx
Optický zoom	20x		

Tab. 4.20 Sony FCBEH3300

#### 4.2.21 avA1000-120 km, Basler AG

Jedná se o černobílou kameru zaznamenávající viditelné spektrum světla. Tato kamera využívá CCD senzor. Výhodou je vysoké rozlišení s velmi vysokou snímkovací frekvencí. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost.

Hmotnost	300 g	Snímkovací frekvence	120 fps
Rozměr	40,7 × 62 × 62 mm	Kvantová účinnost	>45% v 545 nm
Napájení	5W/12VDC	Šum	14 e <sup>-</sup>
Rozlišení senzoru	1024 x 1024	Dynamický rozsah	>1300:1
Rozteč mezi pixely	5,5 μm	Formát senzoru	1/2“

Tab. 4.21 avA1000-120 km

#### 4.2.22 avA2300-30 km, Basler AG

Jedná se o černobílou kameru zaznamenávající viditelné spektrum světla. Tato kamera využívá CCD senzor. Výhodou je velmi vysoké rozlišení, ale nevýhodou je vyšší energetická náročnost.

Hmotnost	300 g	Snímkovací frekvence	31 fps
Rozměr	40,7 × 62 × 62 mm	Kvantová účinnost	>50% v 500 nm
Napájení	6W/12VDC	Šum	12 e <sup>-</sup>
Rozlišení senzoru	2330 x 1750	Dynamický rozsah	>1500:1
Rozteč mezi pixely	5,5 μm	Formát senzoru	1“

Tab. 4.22 avA2300-30 km

#### 4.2.23 MD7530D, VIVOTEK, Inc.

Jedná se o minidome IP kameru, která je vhodnější spíše pro umístění vně bezpilotního letounu. Tato kamera využívá senzor typu CMOS. Výhodou je možnost ji provozovat ve větším rozsahu teplot. Nevýhodou je nižší rozlišení a vyšší spotřeba energie.

Hmotnost	450 g	Formát objektivu	2,8 mm
Rozměr	107 × 47 × 130 mm	Snímkovací frekvence	25 fps
Napájení	7,5W/12-36VDC	Expoziční čas	1/5 – 1/40000 s
Provozní teplota	-25/+50°C	Formát senzoru	1/4“
Rozlišení senzoru	640 x 480	Min. intenzita osvětlení	0,5 lx

Tab. 4.23 MD7530D

#### 4.2.24 MD7560D, VIVOTEK, Inc.

Jedná se o minidome IP kameru, která je vhodnější spíše pro umístění vně bezpilotního letounu. Tato kamera využívá senzor typu CMOS. Výhodou je větší rozsah provozních teplot a vyšší rozlišení. Nevýhodou je vyšší spotřeba energie a nižší snímkovací frekvence.

Hmotnost	450 g	Formát objektivu	2,8 mm
Rozměr	107 × 47 × 130 mm	Snímkovací frekvence	15 fps
Napájení	7,5W/12-36VDC	Expoziční čas	1/5 – 1/40000 s
Provozní teplota	-25/+50°C	Formát senzoru	1/3,2“
Rozlišení senzoru	1600 x 1200	Min. intenzita osvětlení	0,6 lx

Tab. 4.24 MD7560D

#### 4.2.25 MD8562D, VIVOTEK, Inc.

Jedná se o minidome IP kameru, která je vhodnější spíše pro umístění vně bezpilotního letounu. Tato kamera využívá senzor typu CMOS. Výhodou je větší rozsah provozních teplot a velmi vysoké rozlišení. Nevýhodou je vyšší spotřeba energie.

Hmotnost	450 g	Formát objektivu	2,8 mm
Rozměr	107 × 47 × 130 mm	Snímkovací frekvence	30 fps
Napájení	7,5W/12-36VDC	Expoziční čas	1/5 – 1/32000 s
Provozní teplota	-25/+50°C	Formát senzoru	1/2,7“
Rozlišení senzoru	1920 x 1080	Min. intenzita osvětlení	0,2 lx

Tab. 4.25 MD8562D

#### 4.2.26 FD8133V, VIVOTEK, Inc.

Jedná se o dome IP kameru, která je vhodnější spíše pro umístění vně bezpilotního letounu. Tato kamera využívá senzor typu CMOS. Výhodou je vyšší rozlišení a nižší spotřeba energie. Nevýhodou je nižší rozsah provozních teplot.

Hmotnost	463 g	Formát objektivu	3,6 mm
Rozměr	110 × 110 × 80 mm	Snímkovací frekvence	30 fps
Napájení	3,5W/12VDC	Expoziční čas	1/5 – 1/25000 s
Provozní teplota	0/+50°C	Formát senzoru	1/4“
Rozlišení senzoru	1280 x 800	Min. intenzita osvětlení	0,3 lx

Tab. 4.26 FD8133V

## 5 Výběr vhodných senzorů

Naším cílem je vybrat vhodný senzor pro bezpilotní letoun, a to takový, aby byl co nejvhodnější jak pro použití při hledání pohřešovaných osob, tak i pro umístění na samotný letoun. Aby výběr vhodného senzoru nebyl pouze mojí subjektivní záležitostí, použiji pro jeho nalezení algoritmus, který si k tomuto účelu vytvořím.

### 5.1 Algoritmus

Algoritmus představuje podrobný popis či návod jak vyřešit zadanou úlohu, v našem případě tedy výběr senzoru. Důležitou roli v algoritmu budou hrát parametry senzorů, kterým budou přiřazeny hodnoty vzhledem k jejich důležitosti, tak aby vybraný senzor či senzory nebyly pouze neuspokojujícím kompromisem, ale vhodným řešením pro použití při vyhledávání pohřešovaných osob.

Pro tvorbu algoritmu máme velké množství parametrů, abychom dosáhli zjednodušení algoritmu, zanedbáme parametry, které jsou napsány v tabulkách, ale v textu této práce nejsou blíže vysvětleny. Jednotlivé parametry budou rozděleny do skupin a každé takovéto skupině bude přiřazen interval hodnot. Hodnoty z intervalu budou poté zastupovat hodnoty parametrů, přičemž je možno, aby jedna hodnota z intervalu byla přiřazena údajům z různých parametrů. Intervaly přiřazené ke skupinám budou odrážet důležitost parametrů v nich obsažených. Skupina číslo jedna bude nejdůležitější a skupina číslo tři nejméně důležitá. Počet čísel v intervalu bude přitom odpovídat počtům hodnot parametrů, které se v dané skupině nacházejí. Čísla v intervalu navíc nebudou odpovídat skutečným rozdílům mezi hodnotami v rámci jednoho parametru, ale budou charakterizovat jenom pořadí důležitosti. Uvnitř každé skupiny bude mít daný parametr vlastní interval hodnot. Intervaly sousedních parametrů se navíc budou prolínat části svých hodnot. Uspořádání parametrů uvnitř skupin bude taktéž provedeno na základě jejich významu.

Z hlediska výpočtu bude každý senzor charakterizován souborem hodnot, které se poté vloží do příslušného algoritmu. Samotné provedení výpočtu nebude složité a bude spočívat pouze v tom, že sečteme hodnoty přiřazené k parametrům, a ty následně seřadíme sestupně od nejvyšší hodnoty. Senzor, jehož celková hodnota získaná algoritmem bude největší, bude považován za nejlepší možné řešení v rámci konkrétní části výběrové úlohy. Avšak vzhledem k tomu, že ne u všech senzorů jsme schopni nalézt všechny možné parametry, rozdělíme si jednotlivé senzory do několika tříd tak, aby senzory v nich se nacházejících měli co možná nejvíce shodných parametrů. Pokud i tak v nějaké třídě nebudeme mít u

příslušného senzoru daný parametr, tak jako hodnota parametru bude použita totožná s nejhorší možnou, případně nebudeme daný parametr brát při výběru v úvahu.

Jako nejjednodušší rozdělení do tříd by se jevilo rozdělit kamery podle toho, zda zaznamenávají viditelné spektrum světla či jenom infračervené, ale i v takovém případě budou některé kamery vyčnívat, neboť u nich nebudou k dispozici veškeré parametry. Proto budeme muset vytvořit více než dvě třídy. Celkem budeme mít čtyři třídy, přičemž čtvrtá třída bude celá tvořená ze senzorů schopných zaznamenat tepelné záření. Zbýlé tři třídy budou obsahovat senzory schopné zaznamenat jak viditelné, tak NIR spektrum světla.

Každá třída bude tvořena třemi skupinami parametrů. Základní požadavky pro to, aby mohl být senzor umístěn na bezpilotní letoun, jsou charakterizovány jeho hmotností, objemem, napájením a provozní teplotou. Tyto parametry se nacházejí téměř u všech senzorů, proto budou tvořit první skupinu u všech tříd.

První třída bude obsahovat devět senzorů pocházejících od třech výrobců. Její skupinu číslo dvě budou tvořit parametry rozlišení senzorů, snímkovací frekvence a rozteč mezi pixely. Skupina číslo tři bude tvořena parametry kvantová účinnost, šum a dynamický rozsah.

Druhá třída bude obsahovat šest senzorů pocházejících od dvou výrobců. Skupinu číslo dvě budou tvořit parametry rozlišení senzoru a snímkovací frekvence. Parametry obsažené ve skupině číslo tři budou expoziční čas a minimální intenzita osvětlení.

Třetí třída bude obsahovat tři senzory od jednoho výrobce. Parametry obsažené ve skupině číslo dvě budou rozlišení senzoru, snímkovací frekvence a rozteč mezi pixely. Skupina číslo tři bude tvořena parametry vibrace, expoziční čas a minimální intenzita osvětlení.

Čtvrtá třída bude obsahovat osm senzorů pocházejících od čtyř výrobců. Její skupinu číslo dvě budou tvořit parametry rozlišení senzorů, snímkovací frekvence a rozteč mezi pixely. Skupina číslo tři bude tvořena parametry vibrace a citlivost.

Z hlediska výběru senzoru budeme postupovat tak, že z každé třídy vybereme jeden senzor. Z vybraných senzorů poskládáme dvojice, kdy v každé bude vždy senzor s nejvyšším hodnocením původně z první, druhé nebo třetí třídy a jeden senzor původně ze čtvrté třídy. Na konci tedy dostaneme tři dvojice senzorů, které výběrový algoritmus

označil jako nejvhodnější pro umístění na bezpilotní letoun a bude na samotném provozovateli určit, který senzor s konkrétním parametrem je pro něj nejvhodnější.

### 5.2.1 Skupiny parametrů

Skupina č.1 – hmotnost ( g)							
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7
Hmotnost	50	68	72	80	106	145	175
Hodnota	3800	3700	3600	3500	3400	3300	3200
Pořadí	8	9	10	11	12	13	14
Hmotnost	178	200	211	224	230	240	300
Hodnota	3100	3000	2900	2800	2700	2600	2500
Pořadí	15	16	17	18	19	20	21
Hmotnost	391	402	450	463	500	760	830
Hodnota	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800

Tab. 5.1 Hmotnost

Skupina č.1 – největší rozměr (mm)									
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rozměr	32	44	44,5	59	62	64,5	67	67,5	74
Hodnota	2600	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800
Pořadí	10	11	12	13	14	15	16	17	
Rozměr	80	86	87,9	89,7	92	110	130	133,7	
Hodnota	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000	

Tab. 5.2 Největší rozměr

Skupina č.1 – napájení (W)								
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8
Napájení	1	1,2	1,4	2,5	2,6	3,1	3,4	3,5
Hodnota	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Pořadí	9	10	11	12	13	14	15	
Napájení	3,8	4	5	5,1	6	7,5	18	
Hodnota	900	800	700	600	500	400	300	

Tab. 5.3 napájení

Skupina č.1 – teplota (°C)						
Pořadí	1	2	3	4	5	6
Teplota	-40	-25	-20	-10	-5	0
Hodnota	600	500	400	300	200	100

Tab. 5.4 Teplota

Výše uvedené údaje v tabulkách tvoří skupinu č.1, tedy nejdůležitější údaje z hlediska rozhodovacího algoritmu.



Skupina č.2 – rozlišení senzoru (pixelů)						
Pořadí	1	2	3	4	5	6
Počet px	15824256	10709376	5018400	4077500	2073600	1920000
Hodnota	290	280	270	260	250	240
Pořadí	7	8	9	10	11	12
Počet px	1392640	1228800	1048576	1024000	921600	380000
Hodnota	230	220	210	200	190	180
Pořadí	13	14	15	16	17	18
Počet px	379392	327680	307200	110592	81920	76800
Hodnota	170	160	150	140	130	120

Tab. 5.5 Rozlišení senzoru

Skupina č.2 – snímkovací frekvence (fps)								
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8
Snímkovací fr.	120	90	62	60	50	40	32	31
Hodnota	200	190	180	170	160	150	140	130
Pořadí	9	10	11	12	13	14	15	16
Snímkovací fr.	30	25	24	16	15	7,5	5	3
Hodnota	120	110	100	90	80	70	60	50

Tab. 5.6 Snímkovací frekvence

Skupina č.2 – rozteč mezi pixely (μm)									
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rozteč mezi px	3,45	5,5	6,45	6,5	7,4	9	17	25	35
Hodnota	90	80	70	60	50	40	30	20	10

Tab. 5.7 Rozteč mezi pixely

Výše uvedené informace v tabulkách tvoří skupinu č.2, tedy méně důležité údaje z hlediska výběrového algoritmu. Údaje níže patří do skupiny č.3 a jsou to z hlediska rozhodování nejméně důležité informace.

Skupina č.3 – minimální intenzita osvětlení (lx)							
Pořadí	1	2	3	4	5	6	7
Min. intenzita osvětlení	0,002	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1
Hodnota	15	14	13	12	11	10	9

Tab. 5.8 Minimální intenzita osvětlení

Skupina č.3 – šum (e <sup>-</sup> ), expoziční čas (s)					
Pořadí	1	2	3	4	5
Šum	2	12	14	16	30
Hodnota	11	10	9	8	7
Pořadí	1	2	3	4	5
Expoziční čas	1/100000	1/40000	1/32000	1/25000	1/10000
Hodnota	7	6	5	4	3

Tab. 5.9 Šum, expoziční čas

Skupina č.3 – vibrace (G), dynamický rozsah				
Pořadí	1	2	3	4
Vibrace	10	4,5	4,3	2
Hodnota	9	8	7	6
Pořadí	1	2	3	4
Dynamický rozsah	1900	1700	1500	1300
Hodnota	8	7	6	5

Tab. 5.10 Vibrace, dynamický rozsah

Skupina č.3 – citlivost (mK)			Skupina č.3 – kvantová účinnost (%)		
Pořadí	1	2	Pořadí	1	2
Citlivost	8	80	Kvantová účinnost	50	45
Hodnota	3	2	Hodnota	2	1

Tab. 5.11 Citlivost, kvantová účinnost

### 5.2.2 Senzory seřazené dle tříd a ohodnocení

Třída č.1		
Pořadí	Název senzoru	Hodnota
1	Prosilica GC2450	7154
2	Tau CNV	6918
3	Prosilica GT2450	6254
4	Prosilica GE1910	6088
5	avA1000-120 km	6005
6	avA2300-30 km	5788
7	Prosilica GT1660	5618
8	Prosilica GE4900	4606
9	Prosilica GE4000	4497

Tab. 5.12 Třída č.1

Třída č.2		
Pořadí	Název senzoru	Hodnota
1	Sony FCBEH3300	5627
2	Sony FCBEX1000	5467
3	FD8133V	4736
4	MD8562D	4588
5	MD7560D	4536
6	MD7530D	4477

Tab. 5.13 Třída č.2

Třída č.3		
Pořadí	Název senzoru	Hodnota
1	Sony XCEI30	8568
2	Sony XCGSX97E	7019
3	Sony XCGV60E	7015

Tab. 5.14 Třída č.3

Třída č.4		
Pořadí	Název senzoru	Hodnota
1	Tau 320	8530
2	Tau 640	8370
3	Miracle XT <sub>i</sub> Technology	8329
4	Raven-640-Analog 17μm	7211
5	Raven-384	5331
6	Raven-640-Analog 25μm	5301
7	Pearleye-030 LWIR	3579
8	Pearleye-007 LWIR	3489

Tab. 5.15 Třída č.4

Ve čtyřech výše uvedených tabulkách máme pomocí výběrového algoritmu v každé třídě seřazeny senzory od nejlepšího po nejhorší. Pomocí výběrového algoritmu byly tedy jako nejvhodnější vybrány tyto senzory:

- Prosilica GC2450
- Sony FCBEH3300
- Sony XCEI30
- Tau 320

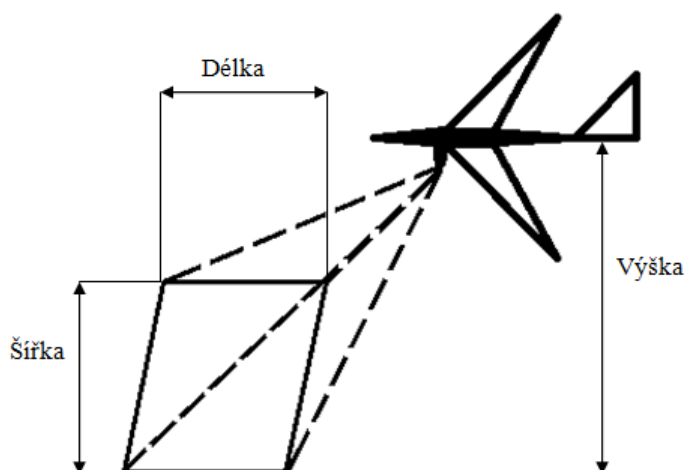
## 5.2 Funkční parametry senzorů

Funkční parametry nám představují, jaké vlastnosti budou mít senzory v praxi při použití na bezpilotním letounu. Takovými parametry jsou rozsah prohledávané oblasti a čas, po který bude mít operátor UAS pozorovaný objekt v zorném poli.

### 5.2.1 Rozsah prohledávané oblasti

Mezi to, co zajímá provozovatele, samozřejmě také patří, jakou oblast dokáže kamera snímat. Velikost snímané oblasti se odvíjí od rozlišení snímače, rozteče mezi pixely, ohniskové vzdálenosti objektivu a vzdálenosti kamery od snímané oblasti. Z nabízených možností máme čtyři typy rozlišení, čtyři typy roztečí mezi pixely a pro zjednodušení budeme počítat s tím, že ohnisková vzdálenost je 25 mm (existuje samozřejmě možnost instalace objektivu s větší ohniskovou vzdáleností, např. 50 mm). Pro různé kombinace vzdálenosti od snímané oblasti, použití objektivu s různou ohniskovou vzdáleností a různého rozlišení jsem si vytvořil tabulky (viz. tab. 5.16 až 5.19).

Z důvodu nepřesnosti používaných terminů, jako jsou výška, délka a šířka, nám pro získání lepší představy, co který termín vyjadřuje, poslouží obr. 5.1.



Obr. 5.1 Snímaná oblast

Pro výpočet hodnoty, kterou dokáže snímat „jeden pixel“ nám slouží vzorec, kde  $S$  představuje reálnou snímanou hodnotu,  $V$  značí výšku nad zemí,  $f$  je ohnisková vzdálenost a  $P_x$  je rozteč mezi pixely. Pro správný výpočet musí být všechny jednotky převedeny na mm. Nakonec se hodnota  $S$  vynásobí počtem pixelů a získáme tak rozlohu snímané oblasti.

$$S = \frac{V}{f} \times P_x$$

Rozlišení	2448x2050							
Objektiv	25 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	2150	3823	5973	8601	11707	15291	19353	23893
Šířka (m)	51	68	84	101	118	135	152	169
Délka (m)	42	57	71	85	99	113	127	141
Objektiv	50 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	538	956	1493	2150	2927	3823	4838	5973
Šířka (m)	25	34	42	51	59	68	76	84
Délka (m)	21	28	35	42	50	57	64	71

Tab. 5.16 Rozsah snímané oblasti

Rozlišení	1280x720							
Objektiv	25 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	242	430	672	967	1317	1720	2177	2687
Šířka (m)	21	28	35	41	48	55	62	69
Délka (m)	12	16	19	23	27	31	35	39
Objektiv	50 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	60	107	168	242	329	430	544	672
Šířka (m)	10	14	17	21	24	28	31	35
Délka (m)	6	8	10	12	14	16	17	19

Tab. 5.17 Rozsah snímané oblasti

Rozlišení	768x494							
Objektiv	25 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	748	1330	2078	2992	4072	5319	6731	8310
Šířka (m)	34	45	57	68	80	91	102	114
Délka (m)	22	29	37	44	51	58	66	73
Objektiv	50 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	187	332	519	748	1018	1330	1683	2078
Šířka (m)	17	23	28	34	40	45	51	57
Délka (m)	11	15	18	22	26	29	33	37

Tab. 5.18 Rozsah snímané oblasti

Rozlišení	320x256							
Objektiv	25 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	1843	3277	5120	7373	10035	13107	16589	20480
Šířka (m)	48	64	80	96	112	128	144	160
Délka (m)	38	51	64	77	90	102	115	128
Objektiv	50 mm							
Výška (m)	150	200	250	300	350	400	450	500
Oblast (m <sup>2</sup> )	461	819	1280	1843	2509	3277	4147	5120
Šířka (m)	24	32	40	48	56	64	72	80
Délka (m)	19	26	32	38	45	51	58	64

Tab. 5.19 Rozsah snímané oblasti

Z výše uvedených tabulek si lze subjektivně odvodit, že použití 50 mm objektivu je vzhledem k velikosti snímané oblasti vhodné pouze při snímání z výšky 300 metrů a více při rozlišení 2448x2050 a 320x256, a také z výšky 400 metrů a více u rozlišení 768x494. U 25 mm objektivu je snímání vhodné pouze od výšky 150 metrů u rozlišení 2448x2050 a 320x256, od 200 metrů u rozlišení 768x494 a od 350 metrů a více při rozlišení 1280x720. Vzhledem k tomu, že minimální výšky pro snímání jsou mnou subjektivně zvolené, je třeba uvést, že provozovatel UAS by si měl sám zvolit, v jaké výšce se bude letoun pohybovat a to vzhledem k potřebám pátrání. Taktéž existuje možnost při hledání používat více bezpilotních letounů s různou letovou výškou, nebo mít u jednoho letounu možnost nastavit více výšek letu pro různé fáze pátrání.

Výše uvedené tabulky ale představují pouze oblast, jakou jsou senzory schopny snímat v okamžitém čase. K získání lepší představy o fungování kamer na bezpilotním letounu slouží tab. 5.20, která nám ukazuje, jak velkou oblast je bezpilotní letoun schopen prohledat za hodinu při různých rychlostech. Parametr šířka v tabulce představuje delší ze stran snímané plochy.

Šířka (km)	0,048	0,058	0,071	0,118	0,169
Rychlost (km/h)	Velikost prohledané oblasti za 1 hodinu v km <sup>2</sup>				
130	6,29	7,50	9,19	15,37	21,96
120	5,81	6,92	8,48	14,18	20,27
110	5,32	6,35	7,78	13,00	18,58
85	4,11	4,90	6,01	10,05	14,36
70	3,39	4,04	4,95	8,27	11,82
60	2,90	3,46	4,24	7,09	10,13
50	2,42	2,89	3,54	5,91	8,45

Tab. 5.20 Velikost prohledané oblasti

### 5.2.2 Čas snímání objektu

Pomocí tabulky 5.21 je možné si udělat přehled o tom, jak bude vypadat fungování bezpilotního letounu v terénu vzhledem k jeho rychlosti, a tedy jak dlouho bude moci operátor sledovat objekt na svém monitoru, než mu zmizí. Pro lepší představu jsou v tabulce uvedeny i příklady jiných bezpilotních letounů a rychlostí, jimiž se pohybují. Parametr délka v tabulce představuje kratší ze stran snímání plochy.

Délka (m)		27	42	71	99	141
Bezpilotní letoun	Rychlost (km/h)	Čas (s) snímání objektu v dané oblasti				
Sojka III TVM 3.12	130	0,8	1,2	2	2,7	3,9
RemoEye H-120	120	0,8	1,3	2,1	3	4,2
ScanEagle	110	0,9	1,4	2,3	3,2	4,6
Vrabac	85	1,2	1,8	3	4,2	6
Luna X-2000	70	1,4	2,2	3,6	5,1	7,3
Wasp III	60	1,6	2,5	4,2	5,9	8,5
Raven RQ-11	50	2	3,1	5,1	7,1	10,2

Tab. 5.21 Čas snímání objektu

Z tabulek se může zdát, že prostor, jež jsou kamery schopny prohledat není velký, avšak to je omyl. Pokud si jako příklad vezmeme kameru s rozlišením 2448x2050 pixelů, 25 mm objektivem, letící ve výšce 500 m a rychlostí 50 km/h, tak ta dokáže snímat oblast šířky 169 metrů. Což by při běžném pátrání byla rojnice policistů o zhruba 30 mužích. Letoun by dále dokázal prohledat za hodinu prostor o rozloze 8,45 km<sup>2</sup>. Zatímco při pátrání policistů, kdy běžná rychlost chůze v terénu nebude větší než 5 km/h, bude prohledána za hodinu oblast o rozloze pouhých 0,845 km<sup>2</sup>. Z tohoto jasně plyne, že i kdyby letoun přidělenou oblast prohledával čtyřikrát, pořád bude prohledaná oblast 2,5 krát větší než oblast, jakou by dokázala prohledat skupina zhruba 30 policistů.

## 6 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval senzory vhodnými pro použití na bezpilotních letounech, které by bylo možné použít při hledání pohřešovaných osob. Na začátku této práce jsem proto nastínil situaci z hlediska počtu pohřešovaných osob v České republice. Dále jsem se zaměřil na vysvětlení toho, co to vlastně bezpilotní letoun je, na podmínky jeho provozu z hlediska legislativy, na jeho historii a na rozdělení bezpilotních letounů podle způsobu využití. V další části práce jsem se zaměřil na popis biosignálů člověka, a to jak takových, které jsou měřitelné senzory UAS, tak i takových, jež se používají ke ztotožnění osob a vyžadují přímý fyzický kontakt mezi snímanou osobou a skenerem.

V prostřední části mé diplomové práce jsem se soustředil na popis senzorů z hlediska toho, jakou technologii používají pro detekci cílů. U jednotlivých technologií jsem se snažil o co nejlepší popis jejich fungování, a také jsem zmínil, jaké výhody a nevýhody má použití těchto technologií na UAS určeném pro hledání pohřešovaných osob. Pro jednotlivé technologie jsem taktéž vybral jednoho zástupce a u toho blíže popsal jeho vlastnosti. Vzhledem k tomu, abych množinu použitelných senzorů zúžil, bylo nutné zvolit si konkrétní bezpilotní letoun, na který mají být použity. Jako bezpilotní letoun, jenž poslouží pro specifikaci aplikovatelných senzorů, jsem si zvolil ten, který se nachází ve vlastnictví Ústavu letecké dopravy, Vysoké školy Báňské. S přihlédnutím k omezujícím parametrům tohoto letounu jsem analyzoval možné senzory.

Na konci této diplomové práce jsem ze senzorů, které jsem analyzoval, pomocí zvoleného algoritmu vybral čtveřici senzorů vhodných pro použití na bezpilotní letoun, tři elektro-optické (Prosilica GC2450, Sony FCBEH3300 a Sony XCEI30) a jeden detekující tepelné záření (Tau 320). U této čtveřice senzorů jsem se dále zaměřil na konkretizaci toho, jak bude vypadat jejich operační nasazení z hlediska daných vlastností.

Závěrem lze konstatovat, že při tvorbě této diplomové práce jsem se dozvěděl množství zajímavých informací, které jsem taktéž vložil do této práce, a proto věřím, že tato práce bude přínosem pro každého, kdo se ji rozhodne prostudovat, a tedy nelze ji hodnotit jinak než kladně, taktéž díky tomu, že jsem splnil cíle stanovené v úvodu.

### *Poděkování*

Na konec bych chtěl také poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Františku Martincovi, CSc. za dohled a kontrolu směřování této práce.

## Seznam použité literatury

- [1] <http://www.robotshop.com/sensors.html> (20.12.2012)
- [2] <http://www.conrad.cz/smerovy-mikrofon-yukon-dsas.k671518> (2.5.2013)
- [3] <http://www.janzaudio.com/clanky/index.html?id=4> (2.5.2013)
- [4] [http://www.vivotek.cz/ip-kamery-vivotek.php?form\\_factor=minidome](http://www.vivotek.cz/ip-kamery-vivotek.php?form_factor=minidome) (4.3.2013)
- [5] <http://www.baslerweb.com/products/aviator.html> (23.2.2013)
- [6] [http://www.xenics.com/en/infrared\\_camera/infrared\\_camera.asp](http://www.xenics.com/en/infrared_camera/infrared_camera.asp) (23.2.2013)
- [7] <http://www.alliedvisiontec.com/emea/products/cameras.html> (24.2.2013)
- [8] <http://www.thermoteknix.com/> (1.3.2013)
- [9] <http://pro.sony.com/bbse/ssr/cat-industrialcameras/> (19.1.2013)
- [10] [http://www.imsar.com/products/#product\\_120](http://www.imsar.com/products/#product_120) (19.1.2013)
- [11] [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/Aerial\\_Target.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/Aerial_Target.html) (20.12.2012)
- [12] <http://www.caa.cz/file/5965> (20.12.2012)
- [13] <http://www.flir.com/cvs/cores/view/?id=54502> (24.2.2013)
- [14] <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> (20.12.2012)
- [15] <http://www.wikiskripta.eu/index.php/EEG> (6.5.2013)
- [16] <http://face-rec.org/general-info/> (6.5.2013)
- [17] <http://www.comfis.cz/biometrie> (6.5.2013)
- [18] <http://www.uav.estranky.cz/clanky/about-rpas---o-rpas/deleni-rpas--uav-.html> (6.5.2013)
- [19] <http://tn.nova.cz/zpravy/domaci/policiste-letos-patrali-po-368-pohresovanych-detech-21-jich-je-stale-nezvestnych.html> (2.5.2013)
- [20] HOZMAN, Jiří aj. Praktika z biomedicínské a klinické techniky. 1. vyd. Praha: ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2008. ISBN 978-80-01-03956-4.
- [21] ČIHÁK, Josef. Biofyzikální snímače, sondy a elektrody. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 1985.
- [22] VOLNER, Rudolf. Bezpečnostní management v letectví. 1 vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ústav letecké dopravy, 2008. ISBN 978-80-248-1918-1.



- [23] ROGALSKI, Antoni. Infrared detectors. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-7671-4.
- [24] CUMMING, Ian G. and WONG, F. Hay-chee. Digital processing of synthetic aperture radar data : algorithms and implementation. Norwood: Artech House, 2005. ISBN 1-58053-058-3.
- [25] BAEK, Sang-Ho. DEM generation and ocean tide modeling using InSAR : theory and application. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2009. ISBN 978-3-639-15610-2.
- [26] JONÁK, Jiří. Záznam zvuku. Praha: Vydavatelství Policejní akademie ČR, 2003. ISBN 80-7251-138-6.
- [27] ČERNÝ, Martin a Marek PENHAKER. Telemetrie. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1605-0.

## **Seznam příloh**

- Příloha A** – Fotografie funkčního bezpilotního letounu ve vlastnictví Ústavu letecké dopravy, Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava
- Příloha B** – Fotografie nedokončeného bezpilotního letounu ve vlastnictví Ústavu letecké dopravy, Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava

## Příloha A



Obr. A.1 Fungující bezpilotní letoun



Obr. A.2 Spodek bezpilotního letounu

## Příloha B



Obr. B.1 Nedokončený bezpilotní letoun



Obr. B.2 Nedokončený bezpilotní letoun